

การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2558

**PREDICTION OF BUS FIRE BEHAVIOR INSIDE
AN AIR CONDITIONING BUS
COMPARTMENT**



Piyakan Hansamuk

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2015**

การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ธีรุต คตวิชัย)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.กิริติ สุทธิรักษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สุกัญญา รูปจันทร์)

กรรมการ

(ศ.ดร.ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปิยกานต์ หาญสมักร : การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสาร
ปรับอากาศ (PREDICTION OF BUS FIRE BEHAVIOR INSIDE AN AIR
CONDITIONING BUS COMPARTMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.กิริติ สุกัญญ์, 110 หน้า

งานวิจัยนี้ทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Inter City Bus จำนวนเบาะที่นั่งรวม 44 ที่นั่ง การศึกษาใช้การจำลองผลด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator ร่วมกับโปรแกรม Smoke View เพื่อทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ 6 กรณี จำแนกตามตำแหน่งต้นเพลิง 2 ตำแหน่งคือ ห้องเครื่องยนต์ห้องโดยสารและถังน้ำมันเชื้อเพลิง ตำแหน่งช่องทางหนีไฟ 3 ตำแหน่งคือ ประตูทางเข้าด้านหน้า ประตูทางเข้าด้านหลังและประตูหนีไฟ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากอุณหภูมิของอากาศร้อน ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สะสมภายในห้องโดยสารระหว่างเกิดเพลิงไหม้ ความเข้าใจในพฤติกรรมดังกล่าวจะนำไปสู่การปรับปรุงตำแหน่งช่องทางหนีไฟที่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาพบว่า การเกิดเพลิงไหม้ในกรณีที่ไม่มีช่องทางหนีไฟและกรณีที่มีประตูหนีไฟ โดยมีต้นเพลิงลุกลามจากห้องเครื่องยนต์ท้ายห้องโดยสาร มีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินค่าวิกฤต แนวทางการปรับปรุงทำได้ดังนี้ หากประตูหนีไฟมี 1 จุด ควรติดตั้งประตูดังกล่าวอยู่ระหว่างตำแหน่ง 5.1 - 6.7 เมตร วัดจากท้ายห้องโดยสาร จะช่วยเพิ่มระยะเวลาปลอดภัยในการอพยพผู้โดยสารออกจากพื้นที่ประสบภัยได้ 573 วินาที หากติดตั้งประตูหนีไฟเป็น 2 จุด จุดที่ 1 ควรติดตั้งอยู่ระหว่างตำแหน่ง 1.2 - 3.6 เมตร จุดที่ 2 ควรติดตั้งที่ตำแหน่ง 8.5 เมตร วัดจากท้ายห้องโดยสารตามลำดับ

PIYAKAN HANSAMUK : PREDICTION OF BUS FIRE BEHAVIOR

INSIDE AN AIR CONDITIONING BUS COMPARTMENT. THESIS

ADVISOR : ASST. PROF. KEERATI SULUKSNA, Ph.D., 110 PP.

AIR CONDITIONING BUS/BUS FIRE BEHAVIOR/BUS FIRE PREDICTION

This research purpose the prediction of the bus fire behavior of an Air Conditioning Intercity bus with totally 44 seats. The study has been operated on computer simulation using Fire Dynamics Simulator 6.0 and Smoke View software. Six cases of bus fire have been investigated base on two fire starting positions ; rear engine and fuel tank, three positions of exit way ; front door, rear door and emergency door. Effect of hot air temperature, concentration of oxygen, carbon dioxide and carbon monoxide inside a compartment during fired are considered. Understanding on those behaviors leading to improving of emergency door installing position in order to attain more safety conditioning.

The study found that in case of fire without exit ways and in case of rear engine fire with emergency door have over critical limit the carbon dioxide level. Improvement ways on those cases are following. For case of one emergency door, the door should be installed between the position of 5.1 - 6.7 meters from the compartment rear, This will increase more safety immigration time to 573 seconds. For case of two emergency doors, the first door should be installed between the position of 1.2 - 3.6 meters and the second door at 8.5 meters from compartment rear, respectively.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2015

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี เนื่องด้วยพระคุณอันสูงยิ่งจากบุคคลผู้ช่วยเหลือในด้านวิชาการ ด้านดำเนินงานวิจัย การให้คำปรึกษาแนะนำ และด้านอื่นๆดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางวิชาการ ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยจนสามารถดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ตลอดจนคำแนะนำและกำลังใจในการดำเนินชีวิตด้วยความเมตตาโดยตลอด ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ในพระคุณอันสูงยิ่งนี้

คุณเอกลักษณ์ พรหมภักดี คุณภกวิวัฒน์ บุญวิจิตร บริษัทเชดชัยอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ที่ถ่ายทอดประสบการณ์การออกแบบห้องโดยสารและระบบปรับอากาศ ตลอดจนเอื้อเฟื้อเวลาและสถานที่เก็บข้อมูลภายในไลน์การผลิตโดยสายปรับอากาศ

คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการ ตลอดจนคำแนะนำและกำลังใจในการทำงาน

ขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาในกลุ่มวิจัยกลศาสตร์เชิงคำนวณทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณ คุณยายทองอ่อน หิรัญเกิด คุณพ่ออรรณวิทย์ - คุณแม่อรุณศรี หาญสมักร คุณแม่ทรัพย์ทวี หิรัญเกิด คุณแม่พงษ์ราตรี หิรัญเกิด คุณน้าวิภาพรรณ หิรัญเกิด ผู้ให้โอกาสทางการศึกษาและการเลี้ยงดูที่ดี ให้กำลังใจ และผลักดันให้ข้าพเจ้ามุ่งมั่นศึกษาอย่างไม่ย่อท้อต่อความเหนื่อยยากลำบาก จนสามารถสำเร็จการศึกษามาได้ ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวทุกคน และขอบคุณ คุณกฤตภัก แปลงดี สำหรับคำปรึกษาที่ดีในการทำงานและกำลังใจที่ดีในการเรียนเสมอมา

ปิยกันต์ หาญสมักร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 สถานที่การศึกษาวิจัย.....	5
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 รถโดยสารปรับอากาศ.....	6
2.1.1 กฎหมาย กฎระเบียบ และข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแล รถโดยสารประจำทาง.....	7
2.1.2 มาตรฐานรถโดยสารประจำทางในประเทศไทย.....	8
2.2 การเผาไหม้/เพลิงไหม้	10
2.2.1 เชื้อเพลิงและการเกิดปฏิกิริยา/สัดส่วนของการเกิดปฏิกิริยา.....	10
2.2.2 ก๊าซอันตรายที่เป็นส่วนประกอบของควันไฟ	12
2.3 ทฤษฎีของลำควัน (Plume Theory)	15
2.4 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	18
2.4.1 กระบวนการซีเอฟดี.....	19
2.4.2 ขั้นตอนของซีเอฟดี.....	20

สารบัญ (ต่อ)

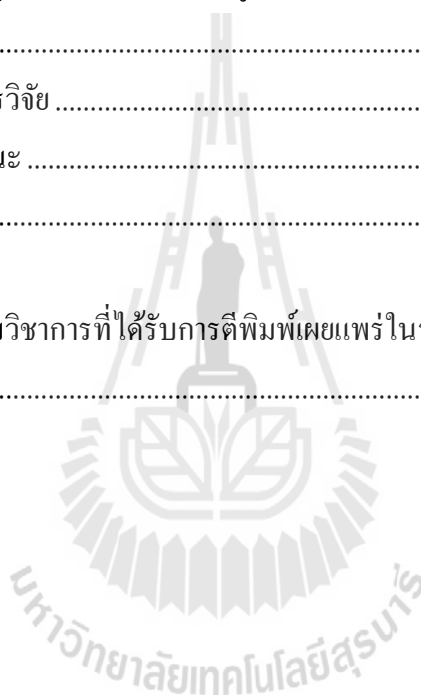
หน้า

2.4.3	สมการควบคุมการไหล	21
2.4.4	พลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics).....	22
2.5	กริด.....	25
2.5.1	กริดมีโครงสร้าง	25
2.5.2	กริดไร้โครงสร้าง	26
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
2.6.1	รายงานวิจัยโครงการมาตรฐานด้านความปลอดภัยของรถในระบบ รถโดยสารประจำทาง.....	27
2.6.2	การศึกษาการเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสารในต่างประเทศ.....	28
3	วิธีดำเนินการวิจัย	35
3.1	กรณีสอบเทียบ	36
3.1.1	การศึกษาข้อมูลกรณีสอบเทียบ	36
3.1.1.1	Forced Ventilation Enclosure Fire.....	36
3.1.1.2	Modeling of a fire in a test room	38
3.1.1.3	Comparison of a CFD fire model against a ventilates experiment in an enclosure	41
3.1.2	การสอบเทียบกรณี Forced Ventilation Enclosure Fire.....	44
3.1.3	ผลกรณีสอบเทียบด้วยโปรแกรม FDS	47
3.1.4	สรุปผลกรณีสอบเทียบด้วยโปรแกรม FDS	50
3.2	วิธีดำเนินการวิจัย	51
3.2.1	สถานที่การศึกษาวิจัย	51
3.2.2	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	51
3.2.2.1	การเก็บข้อมูลในห้องโดยสาร	52
3.2.2.2	สร้างแบบปริมาตรจำลองหรือโดเมนปัญหา.....	56
3.2.2.3	การสร้างกริด.....	57
3.2.2.4	การเขียนคำสั่งประมวลผล	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	65
4.1 การทำนายพฤติกรรมของเพลิงไหม้ฯ กรณีที่ 1A - 3A.....	67
4.2 การทำนายพฤติกรรมของเพลิงไหม้ฯ กรณีที่ 1B - 3B	72
4.3 การวิเคราะห์กรณีวิกฤติของเพลิงไหม้ฯ กรณีที่ 1A - 3A , 1B - 3B	75
4.4 การปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟ	78
5 บทสรุป.....	86
5.1 สรุปผลการวิจัย	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	89
รายการอ้างอิง.....	104
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก บททความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	109
ประวัติผู้เขียน	110



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ข้อมูลของวัสดุในการทดลองของ Alvarez และคณะ (1984) 37
3.2	ข้อมูลเปรียบเทียบจาก 6 องค์การและสถาบันที่ทำการทดลองการตรวจสอบความถูกต้อง ของการทดลอง Alvarez และคณะ (1984) 37
3.3	กรณีศึกษาการเกิดเพลิงไหม้ที่มีต้นเพลิงและช่องทางหนีไฟแตกต่างกัน 55
3.4	ข้อมูลการแบ่งพื้นที่ของโดเมนปัญหาการโดยสารกรณี A..... 58
3.5	ข้อมูลการแบ่งพื้นที่ของโดเมนปัญหาการโดยสารกรณี B..... 58
3.6	ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล 59
4.1	ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ กรณี 1A - 3A, 1B - 3B 69
4.2	การวิเคราะห์กรณีวิกฤตของเพลิงไหม้ในห้องโดยสาร..... 76
4.3	ความเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุง ตำแหน่งประตูหนีไฟกรณี 2A และ 2B 83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ประเภทของรถโดยสารปรับอากาศ ตามข้อมูลกรมขนส่งทางบก..... 9
2.2	ลำคลื่นสมมาตร (Axisymmetric Plume)..... 16
2.3	กระบวนการดิสกรีไทเซชัน 19
2.4	กราฟ ΔT_0 กับ $z/\dot{Q}^{2/5}$ (ณัฐศักดิ์ บุญมี, 2549) 24
2.5	ตัวอย่างกริดที่มีโครงสร้าง(Feriger and Peric, 2002) 26
2.6	ตัวอย่างกริดไร้โครงสร้าง (Feriger and Peric, 2002) 26
2.7	แสดงลักษณะการจัดวางกริด ที่เหมาะสม 27
2.8	แสดงลักษณะการจัดวางกริด ที่ไม่เหมาะสม..... 27
2.9	ผลการทำนายอุณหภูมิของเพลิงไหม้ กรณีในห้องโดยสารมีวัสดุตกแต่ง และประตูรถโดยสารเปิด (Tan Jia Lei, 2010) 29
2.10	ผลการทำนายอุณหภูมิของเพลิงไหม้ กรณีในห้องโดยสารไม่มีวัสดุตกแต่ง และประตูรถโดยสารปิดสนิท(Tan Jia Lei, 2010) 30
2.11	ผลการทำนายอุณหภูมิของเพลิงไหม้ กรณีในห้องโดยสารไม่มีวัสดุตกแต่งบนฝ้าเพดาน และประตูรถโดยสารปิดสนิท(Tan Jia Lei, 2010) 30
2.12	ผลการทำนายอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ภายใต้การถ่ายเทอากาศ ที่แตกต่างกัน (Xiaonan Zhang, 2011) 31
2.13	ผลการกระจายควันไฟเมื่อต้นเพลิงเกิดที่ตำแหน่งเครื่องยนต์ด้านหน้ารถ (Xiaonan Zhang, 2011)..... 32
2.14	ผลการกระจายควันไฟเมื่อต้นเพลิงเกิดที่ตำแหน่งพื้นที่เก็บสัมภาระ (Xiaonan Zhang, 2011)..... 32
3.1	(ก) กระทะเชื้อเพลิงแบบลุกไหม้ธรรมชาติ (Natural Burning Pool Fire) และ (ข) หัวจ่ายเชื้อเพลิงแบบสเปรย์ (Alvarez, 1984) 37
3.2	ข้อมูลเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลอง จากการทดลอง MOD 27B 38
3.3	ข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในห้องทดลอง จากการทดลอง MOD 27B 38
3.4	ลักษณะห้องจำลอง (Alvarez,1984) 39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ผลการจำลองการกระจายอุณหภูมิห้องที่ระนาบ $X = 3.00$ เมตร กึ่งกลางห้องจำลอง (H.K.Versteeg, 2007)	40
3.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิทดลองของ Alvarez และอุณหภูมิทดลองของ Versteeg ที่ความสูงต่างๆ (H.K.Versteeg, 2007).....	40
3.7 การตั้งเงื่อนไขเริ่มต้น และขอบเขตในการจำลอง (Yunlong Liu, 2004)	41
3.8 ผลการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ เมื่อเกิดเพลิงไหม้ที่มีจุดเริ่มต้นที่กองไฟ (Yunlong Liu, 2004).....	42
3.9 การกระจายอุณหภูมิที่เส้นสมมติ East Rake ที่วินาทีที่ 20 (Yunlong Liu, 2004)	42
3.10 การกระจายอุณหภูมิที่เส้นสมมติ West Rake ที่วินาทีที่ 20 (Yunlong Liu, 2004).....	43
3.11 การแปลงโดเมนปัญหาด้วยโปรแกรม Solid Work 2014.....	44
3.12 การแปลงโดเมนปัญหาด้วยโปรแกรม Autocad.....	45
3.13 การสั่งผ่าน cmd.exe เพื่อให้ FDS ประมวลผลการจำลองเพลิงไหม้	46
3.14 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในรูปแบบของไฟล์ Excel จากการประมวลผลด้วย FDS...	47
3.15 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโซนผนังเทียบกับเวลาการเผาไหม้	47
3.16 ผลของอุณหภูมิที่ระยะความสูงต่างๆ บนเส้น East Rake เมื่อเวลาใดๆ.....	48
3.17 ผลของอุณหภูมิ บนเส้น East Rake และ West Rake ที่ความสูง 3 เมตร	48
3.18 ผลของอุณหภูมิที่ระยะความสูงต่างๆ บนเส้นสมมติ East Rake	49
3.19 ผลของอุณหภูมิที่ระยะความสูงต่างๆ บนเส้นสมมติ West Rake	49
3.20 ผลของอุณหภูมิที่ระยะความสูงต่างๆ บนเส้นสมมติ East Rake เมื่อเวลาใดๆ	50
3.21 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ดับเพลิง.....	51
3.22 วัสดุประเภทโฟมกันความร้อน ใ้บุฝ้าเพดานและผนังห้องโดยสาร	51
3.23 วัสดุประเภทโฟมเบา ใ้บุฝ้าเพดานและผนังห้องโดยสาร	52
3.24 วัสดุประเภทไม้อัดหนา ใ้บุพื้นห้องโดยสาร	52
3.25 วัสดุประเภทหนังสังเคราะห์หรือผ้าทอลวดลาย ใ้หุ้มเบาะ	52
3.26 วัสดุประเภท Metal Textured Sheet ใ้บุพื้นทางเดินบริเวณบันได	53
3.27 วัสดุประเภท Tempered Glass และ Laminated Glass ใ้เป็นกระจกผนังห้องโดยสาร	53
3.28 ตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้และเส้นทางหนีไฟบนรถโดยสารปรับอากาศ.....	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.29	โครงสร้างหลักของรถโดยสารปรับอากาศรุ่นชั้นครึ่ง ขนาด 12 x 2.5 x 3.5 เมตร 56
3.30	ส่วนประกอบภายในห้องโดยสาร..... 56
3.31	ส่วนประกอบภายนอกห้องโดยสาร..... 57
3.32	การเปลี่ยนโดเมนปัญหาจาก parasolid ให้เป็นไฟล์.dwg ด้วยโปรแกรม Autocad..... 57
3.33	ลักษณะการแบ่งพื้นที่ของโดเมนปัญหารถโดยสาร 58
3.34	การจัดวางอีเลเมนต์ 4 เหลี่ยม ในโดเมนปัญหารถโดยสาร..... 59
4.1	เวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องโดยสารกรณี 1A..... 66
4.2	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้ เมื่อเวลาใดๆ 67
4.3	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้ เมื่อเวลาใดๆ 67
4.4	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้.... 68
4.5	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้... 68
4.6	เวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศ กรณี 1B วินาทีที่ 5.4 72
4.7	เวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศ กรณี 1B วินาทีที่ 140 73
4.8	เวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศส่วนท้ายห้องโดยสาร กรณี 2B 77
4.9	ตำแหน่งในการทดลองติดตั้งประตุนิไฟใหม่ จำนวน 5 ตำแหน่ง 78
4.10	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่ง ประตุนิไฟ กรณี 2A 79
4.11	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2A 79
4.12	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุง ตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2A 80
4.13	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุง ตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2A 80
4.14	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่ง ประตุนิไฟ กรณี 2B..... 81
4.15	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2B 81
4.16	ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุง ตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2B..... 82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุง ตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2B.....	82
4.18 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร เมื่อปรับปรุงตำแหน่งการ ติดตั้งประตุนิไฟ กรณี 2A และ 2B.....	85
5.1 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งประตุนิไฟ.....	88



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาการคมนาคมและขนส่ง ทั้งทางบก ทางน้ำและทางอากาศที่เจริญก้าวหน้าไปพร้อมกับความเจริญทางด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคม ที่เติบโตอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน อันประเมินได้จากปริมาณผู้ใช้ประโยชน์จากการคมนาคม ผู้เดินทาง และปริมาณเส้นทางที่ใช้ในการคมนาคมที่เพิ่มมากขึ้นในช่วง 20 – 30 ปีที่ผ่านมา การคมนาคมและขนส่งโดยรถประจำทางหรือรถโดยสารถือเป็นหนึ่งในการขนส่งทางบกที่สำคัญอย่างยิ่ง จากสถิติกรมการขนส่งทางบกพบว่า มีผู้ใช้บริการการขนส่งโดยสารประจำทางหรือรถโดยสารกว่า 35 ล้านคนในแต่ละปี โดยมีหน่วยงานที่ให้บริการด้านรถโดยสารหลายแห่ง เช่น บริษัท ขนส่ง จำกัด (บขส.) องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) รวมถึงบริษัทเอกชนที่จดทะเบียนให้บริการด้านการขนส่งผู้โดยสารอีกมากมาย สถิติการจดทะเบียนรถโดยสารสะสม เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2556 พบว่ามีการจดทะเบียนสะสมทั้งสิ้นกว่า 138,252 คัน แยกเป็นรถประจำทาง (Fixed Route Bus) 88,009 คัน รถไม่ประจำทาง (Non Fixed Route Bus) 38,905 คัน และรถส่วนบุคคล (Private Bus) 11,338 คัน ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมต่อรถโดยสารเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยบริษัท 3 กลุ่มผู้ประกอบการใหญ่ คือ บริษัทผู้ผลิตชุดสายรถโดยสาร จำกัด จ.นครราชสีมา บริษัทพานทองกลการจำกัด จ.ฉะเชิงเทรา และกลุ่มต่อตัวถังรถยนต์บ้านโป่ง จ.ราชบุรี ในสัดส่วนการผลิตต่อแห่งร้อยละ 30 และผู้ประกอบการรายย่อยอื่นๆอีกร้อยละ 10 โดยประมาณ ซึ่งกลุ่มต่อตัวถังรถยนต์บ้านโป่ง จ.ราชบุรี มีผู้ประกอบการในเครือมากกว่า 20 บริษัท

การประกอบรถโดยสารขึ้นใช้งานจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งถูกควบคุมโดยกฎหมาย และระเบียบที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้แก่ พระราชบัญญัติกรมการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522, พระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535, มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มาตรฐานยูโร 4 (ECE R.83 – 05 : European Communication Engineering), มาตรฐานด้านความปลอดภัยเป็นต้น จากรายงานการกำกับดูแลรถโดยสารปรับอากาศตามประกาศคณะกรรมการควบคุมการขนส่งทางบกกลาง ให้มีอายุการใช้งานรถโดยสารปรับอากาศ 1 คัน ไม่เกิน 10 ปี แต่จากการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลอายุการใช้งานแล้ว รถโดยสารที่มีอายุมากกว่า 10 ปี มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 48.63 เป็นร้อยละ 56.45 และรถโดยสารที่มีอายุมากกว่า 15 ปี มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 34.24 เป็นร้อยละ 39.90

ในช่วงที่ผ่านมา การประกอบรถยนต์โดยสารในส่วนเครื่องยนต์ทั้งหมด ถูกผลิตและควบคุมอย่างเข้มงวดจากบริษัทผู้ผลิต (Branding) จากต่างประเทศ และในส่วนโครงสร้างที่ถูกออกแบบและผลิตในประเทศไทยนั้น จะมีการตรวจสอบด้านความแข็งแรงและความสมดุลของโครงสร้างโดยกรมการขนส่งทางบกเพื่อออกใบอนุญาตในการประกอบรถยนต์โดยสารแต่ละรุ่น และในอนาคตแนวทางการกำกับดูแลมาตรฐานความปลอดภัยของรถโดยสารประจำทางจดทะเบียนใหม่ มีแผนบังคับให้ผู้ประกอบการประกอบรถยนต์โดยสาร เพิ่มพื้นที่ปลอดภัยภายในห้องโดยสาร (Residual Space) เป็นที่ว่างสำรองเพื่อสร้างโอกาสรอดชีวิตให้มากขึ้น ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ยานยนต์และชิ้นส่วนเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใต้ร่างกรอบเจรจาความตกลงด้านมาตรฐานและการตรวจสอบรับรองของคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านมาตรฐานและคุณภาพของอาเซียน (ASEAN Consultative Committee for Standards and Quality: ACCSQ) อีกด้วย แต่เป็นที่ยอมรับกันว่าจุดขายของรถยนต์โดยสาร นอกจากการออกแบบสมรรถนะด้านเครื่องยนต์และโครงสร้างแล้ว การออกแบบด้านความสวยงามก็เป็นหนึ่งในปัจจัยในการดึงดูดเพื่อการเลือกซื้อรถยนต์โดยสารของลูกค้าและผู้ให้บริการ แต่ทั้งนี้เอง การออกแบบที่สวยงามกลับทำให้ความปลอดภัยถูกมองข้ามหรือลดความใส่ใจลงไป อาทิการเลือกใช้เบาะผ้าทอลวดลายหรือเบาะหนังสังเคราะห์ในการตัดเย็บเพื่อหุ้มเก้าอี้โดยสารซึ่งมีความสวยงาม ราคาถูก แต่มีการทนไฟต่ำ การเลือกใช้กระจกลามิเนตที่สามารถตัดเข้ากับช่องกระจกหรือหน้าต่างที่ออกแบบให้มีรูปทรงโค้งเว้าที่สวยงามได้ง่าย มีความทนต่อแรงกระแทกสูง ค่อนข้างหนาไม่สามารถทุบให้แตกกระจายได้ แต่เมื่อเกิดอุบัติเหตุ เป็นการยากที่จะต้องทุบกระจกเพื่อเข้าไปช่วยเหลือหรืออพยพออกมาจากห้องโดยสารได้อย่างทันท่วงที เป็นต้น

เนื่องจากรถโดยสารเป็นพาหนะที่มีจำนวนผู้โดยสารมาก การเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้งจึงทำให้เกิดความสูญเสียที่มากมายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นมาตรการด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับรถโดยสาร จึงเป็นมาตรการที่เกี่ยวข้องกับผู้โดยสารโดยตรง และถูกนำมาใช้ควบคุมผู้ผลิตและผู้ประกอบการขนส่งให้เป็นไปตามมาตรฐาน แต่กฎระเบียบและแนวปฏิบัติในหลายเรื่องที่ยังไม่มีความชัดเจน โดยเฉพาะในเรื่องที่ว่าด้วยอัคคีภัยในรถยนต์ ในช่วงที่ผ่านมาการเกิดอุบัติเหตุลักษณะนี้แต่ละครั้ง คร่าชีวิตผู้โดยสารไปคราวละเป็นจำนวนมาก เช่น

อุบัติเหตุเพลิงไหม้รถโดยสารปรับอากาศเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2550 เส้นทางยโสธร – กรุงเทพฯ บนถนนสายมิตรภาพ อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี ทำให้มีผู้เสียชีวิต 30 ศพ บาดเจ็บ 34 คน ผลการตรวจอุบัติเหตุร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยพบว่า บริเวณเกิดอุบัติเหตุอยู่ในช่วงทางลงเขา ชื่นส่วนของเกียร์ที่อยู่ในสภาพเก่า และเพลากลางที่แตกร้าวอยู่เดิม เมื่อพนักงานขับรถลดเกียร์ในลักษณะกระชากเพื่อช่วยชะลอความเร็ว ทำให้เกียร์เกิดความเสียหายส่งผลต่อเพลากลางที่มีรอยแตกร้าวหลุดออกจากข้อต่อเพียงท่ายไปกระแทกถึงน้ำมันให้แตกร้าวและเกิดประกายไฟลุกลาม

เข้าสู่ตัวรถจากบริเวณห้องเครื่องด้านหลังตัวรถ จนกระทั่งเกิดเพลิงไหม้ ในขณะที่รถเสียหลักพุ่งลงข้างทางในลักษณะตะแคงซ้ายกดทับประตูทางออกไว้

อุบัติเหตุรถโดยสารปรับอากาศชนประสานงากับรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อและเกิดเพลิงไหม้รถโดยสาร เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2556 เส้นทางกรุงเทพ – ร้อยเอ็ด บนถนนสายมิตรภาพ อ.แก่งคอย จ.สระบุรี มีผู้บาดเจ็บ 19 ศพ บาดเจ็บ 22 คน ผลการตรวจอุบัติเหตุพบว่า สถานที่ที่เป็นทางลาดชันลงเนิน รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ คาดว่าพนักงานขับรถหลับใน ขับรถพุ่งข้ามถนนไปขวางช่องทางขาต่อ รถโดยสารปรับอากาศร้อยเอ็ดมุ่งหน้ากรุงเทพมหานครวิ่งมาด้วยความเร็ว ประสานงาในลักษณะไม่พลิกคว่ำ หลังจากนั้นเกิดเพลิงไหม้

อุบัติเหตุเพลิงไหม้รถโดยสารปรับอากาศรับส่งพนักงานบริษัทเอกชน เมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2556 ภายในสวนอุตสาหกรรมไฮเทค อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต

อุบัติเหตุเพลิงไหม้รถโดยสารปรับอากาศทัศนศึกษาคณะครูโนนไทย เมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2556 บนถนนสายมิตรภาพ – บายพาสเมืองนครราชสีมา ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต

จากรายงานของวิทยุ สวพ. FM 91 คลื่นเพื่อข่าวสารความปลอดภัยและจราจร กองตำรวจเพื่อการสื่อสาร สำนักตำรวจแห่งชาติ ในช่วง 9 เดือน (1 มกราคม – 30 กันยายน 2552) เปิดเผยว่า จากข้อมูลสถิติการรับแจ้งเหตุเพลิงไหม้รถยนต์ทั้งสิ้น 319 ครั้ง รถยนต์เสียหาย 337 คัน ซึ่งในจำนวนนั้นเป็นรถโดยสาร 10 คัน เพิ่มขึ้นมากกว่าปี 2551 ในช่วงเวลาเดียวกันกว่าร้อยละ 28 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ทั้งนี้จากการออกแบบระบบดับเพลิงในห้องเครื่องยนต์รถโดยสาร (ชโย คุณาไทย) พบว่า ห้องเครื่องยนต์รถโดยสารเป็นตำแหน่งที่มีโอกาสในการเกิดเพลิงไหม้มากที่สุด โดยคิดเป็นมากกว่าร้อยละ 60 ของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในรถโดยสาร

ทั้งนี้ต่างประเทศก็มีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบเดียวกัน เช่น อุบัติเหตุเพลิงไหม้บนรถโดยสาร เมื่อวันที่ 5 มิถุนายน 2550 ที่เมืองเฉิงตู (Chendu) ประเทศจีน มีผู้เสียชีวิต 27 ราย บาดเจ็บ 74 ราย อุบัติเหตุเพลิงไหม้บนรถโดยสารเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2551 ที่เมืองหยางปู (Yangpu – เซี่ยงไฮ้) ประเทศจีน มีผู้เสียชีวิต 3 ราย บาดเจ็บ 3 ราย ดังนั้นความเข้าใจพฤติกรรมของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก อันนำไปสู่ข้อแนะนำแก่ผู้โดยสารเมื่อเกิดเหตุ (เช่นเดียวกับข้อเสนอแนะที่ทำให้เข้าใจเมื่อเกิดเพลิงไหม้ในตัวอาคารว่า ให้ก้มตัวลงต่ำใกล้พื้น เอาผ้าเปียกปิดจมูกไว้ ห้ามใช้ลิฟต์ มองหาเส้นทางบันไดหนีไฟ เป็นต้น) จึงมีแนวคิดที่จะทำนายพฤติกรรมของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Computational Fluid Dynamics (CFD) ในการประเมินสถานะขณะเกิดเพลิงไหม้เพื่อประเมินความเสี่ยง ได้รับการยอมรับมากขึ้น

และถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่ถูกยกมาใช้เป็นเครื่องมือศึกษาในครั้งนี้ชื่อ FDS (Fire Dynamics Simulator) Version 6 ซึ่งพัฒนาโดย NIST (National Institute of Standards and Technology ประเทศสหรัฐอเมริกา) ร่วมกับโปรแกรม Smoke View ซึ่ง FDS ใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) สำหรับการจำลองสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน และ Mixture Fraction Based Infinitely Fast Chemical Reaction สำหรับจำลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นบนรถโดยสารในกรณีเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Inter City Bus ซึ่งเป็นรถโดยสารปรับอากาศขนาดชั้นครึ่ง ที่นิยมใช้ในการบริการขนส่งผู้โดยสาร (โดยทั่วไปจำหน่ายรถโดยสารปรับอากาศออกเป็น 3 รุ่น คือ Double Decker Bus, Inter City Bus, และ Low Floor Bus) ติดตั้งเบาะที่นั่งสำหรับผู้โดยสารจำนวน 43 ที่นั่งและเบาะที่นั่งสำหรับพนักงานขับ 1 ที่นั่ง รวม 44 ที่นั่ง จำลองตำแหน่งต้นเพลิง 2 ตำแหน่งคือ 1) ต้นเพลิงบริเวณถังน้ำมันซึ่งมีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และ 2) บริเวณห้องเครื่องยนต์ ท้ายห้องโดยสาร ตำแหน่งช่องทางหนีไฟ 3 ตำแหน่งคือ 1) ประตูทางเข้าด้านหน้า 2) ประตูทางเข้าด้านหลังห้องโดยสาร 3) ประตูหนีไฟ รวมกรณีศึกษาทั้งสิ้น 6 กรณี ผลที่ได้จะทำให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมของการกระจายเพลิง ความเร็วในการลุกลามและความรุนแรงของการเกิดเพลิงไหม้ อันจะนำไปสู่แนวทางการออกแบบห้องโดยสารที่มีความปลอดภัยมากขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อทำนายพฤติกรรมของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ

1.2.2 เพื่อเสนอการออกแบบและปรับปรุงห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศเพื่อช่วยป้องกันและลดความรุนแรงเมื่อเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 จำลองผลด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยใช้โปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator)

1.3.2 การจำลองใช้กับรถโดยสารปรับอากาศชั้นครึ่ง หรือรถโดยสารรุ่น Inter City Bus

1.3.3 จำลองตำแหน่งต้นเพลิง 2 ตำแหน่งคือ 1) ต้นเพลิงบริเวณถังน้ำมันซึ่งมีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และ 2) บริเวณห้องเครื่องยนต์ ท้ายห้องโดยสาร ตำแหน่งช่องทางหนีไฟ 3 ตำแหน่งคือ 1) ประตูทางเข้าด้านหน้า 2) ประตูทางเข้าด้านหลังห้องโดยสาร 3) ประตูหนีไฟ รวมกรณีศึกษาทั้งสิ้น 6 กรณี

1.3.4 เสนอการออกแบบและปรับปรุงห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศเพื่อช่วยป้องกันและลดความรุนแรงเมื่อเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสาร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

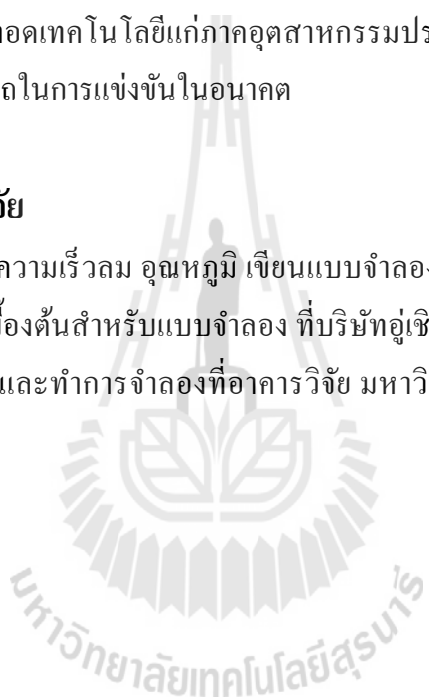
1.4.1 ผลการจำลองคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่บ่งชี้ถึงพฤติกรรมการลุกลามของเพลิงภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศในกรณีต่างๆ

1.4.2 แนวทางการออกแบบห้องโดยสารรถปรับอากาศที่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และช่วยบรรเทาความรุนแรงในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสาร

1.4.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ภาคอุตสาหกรรมประกอบรถโดยสารปรับอากาศ เพิ่มจุดเด่นและขีดความสามารถในการแข่งขันในอนาคต

1.5 สถานที่ศึกษาวิจัย

ทำการเก็บข้อมูลความเร็วลม อุณหภูมิ เขียนแบบจำลองห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับแบบจำลอง ที่บริษัทอู่เชิดชัย (อุตสาหกรรม) จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ศึกษาวิจัยและทำการจำลองที่อาคารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รถโดยสารปรับอากาศ

การคมนาคมและขนส่งโดยรถประจำทางหรือรถโดยสาร ถือเป็นหนึ่งใน การขนส่งทางบก ที่สำคัญในสังคมปัจจุบัน จากสถิติการขนส่งบกพบว่า มีผู้ใช้บริการขนส่งโดยรถประจำทาง หรือรถโดยสารกว่า 35 ล้านคนในแต่ละปี โดยมีหน่วยงานที่ให้บริการด้านรถโดยสารหลายแห่ง เช่น บริษัท ขนส่ง จำกัด (บขส.) องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) รวมถึงบริษัทเอกชนที่จดทะเบียนให้บริการด้านการขนส่งผู้โดยสารอีกมากมาย สถิติการจดทะเบียนรถโดยสารสะสม เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2556 พบว่ามีการจดทะเบียนสะสมทั้งสิ้นกว่า 138,252 คัน แยกเป็นรถประจำทาง (Fixed Route Bus) 88,009 คัน รถไม่ประจำทาง (Non Fixed Rout Bus) 38,905 คัน และรถส่วนบุคคล (Private Bus) 11,338 คัน ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมผลิตรถโดยสารเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยแบ่งผู้ประกอบการออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

1) ผู้นำเข้ารถ หมายถึง บุคคลธรรมดาหรือนิติบุคคลที่นำเข้ารถที่ผลิตหรือประกอบสำเร็จ (Complete-Built Unit) จากต่างประเทศ

2) ผู้ผลิตระดับ 1 หมายถึง นิติบุคคลที่ดำเนินกิจการผลิตหรือประกอบรถที่ได้รับอนุญาต ประกอบกิจการโรงงาน มีวิศวกรควบคุมการสร้างประกอบหรือตรวจสอบรถ และมีระบบควบคุมมาตรฐานการผลิต (ISO) และได้รับการขึ้นทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบก

3) ผู้ผลิตระดับ 2 หมายถึง นิติบุคคลที่ดำเนินกิจการผลิตหรือประกอบรถที่ได้รับอนุญาต ประกอบกิจการโรงงาน มีวิศวกรควบคุมการสร้างประกอบหรือตรวจสอบรถ และได้รับการขึ้นทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบก

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตรถโดยสารในประเทศไทยทั้งรายใหญ่ และรายย่อย มีลักษณะ การดำเนินการแบบเปิดรับคำสั่งจากลูกค้าให้เข้ามามีบทบาทในการกำหนดรายละเอียดในการต่อรถ ทำให้มีความหลากหลายของรถโดยสารในท้องตลาด นอกจากปัจจัยด้านประสิทธิภาพหรือสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ตอบสนองโดยตรงด้านการขับขี่ และปัจจัยด้านความสวยงามเช่น รูปทรง สี สัน การตกแต่งความสวยงามทั้งภายนอกและภายในแล้ว ปัจจัยความสะดวกสบายของผู้โดยสาร เช่น เบาะที่นั่งโดยสาร ระบบภาพและเสียง ระบบไฟส่องสว่าง ห้องน้ำ ระบบปรับอากาศ และระบบ อุปกรณ์ด้านความปลอดภัยก็เป็นอีกหนึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบและ

ขั้นตอนการผลิตซึ่งการผลิตโดยสารขึ้นใช้งานจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งถูกควบคุมโดยกฎหมาย กฎระเบียบ และข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลโดยสารประจำทาง

2.1.1 กฎหมาย กฎระเบียบ และข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลโดยสารประจำทาง

พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522

พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 (ให้ไว้ ณ วันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2522) นี้ มีอำนาจบังคับครอบคลุมการเดินรถทุกประเภทรวมทั้งรถโดยสารประจำทางทุกหมวดด้วย ซึ่งอำนาจหน้าที่ในการบังคับใช้โดยตรงอยู่ที่ตำรวจทางหลวงและตำรวจจราจร

พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522

พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 (ให้ไว้ ณ วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2522) เป็นกฎหมายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมกำกับดูแลการประกอบการขนส่ง การจัดการขนส่งที่รถใช้ในการขนส่ง ผู้ประจํารถ สถานีขนส่ง และการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งที่มีขึ้นภายในประเทศและระหว่างประเทศให้มีความเรียบร้อย และคุ้มครองผู้ใช้ทางและประชาชนที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งทางบก ให้มีสวัสดิภาพในการเดินทางและความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน โดยให้อำนาจหน้าที่แก่กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม ในการควบคุมกำกับดูแลการขนส่งทางบกโดยยานพาหนะแทบทุกประเภทที่ใช้สำหรับขนส่งทางถนน แต่พระราชบัญญัติการขนส่งทางบกจะยกเว้นไม่ใช้บังคับกับการขนส่งบางประเภทที่อยู่ภายใต้ขอบเขตบังคับใช้พระราชบัญญัติรถยนต์

พระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535

เป็นกฎหมายที่ใช้ในการควบคุมและกำกับการใช้ทาง โดยมีข้อกำหนดเกี่ยวกับความเร็วรถที่ใช้บนทางหลวง เกณฑ์ของน้ำหนักรถบรรทุก และน้ำหนักรถบรรทุกที่จะนำไปใช้วิ่งบนทางหลวง ซึ่งในส่วนข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำหนักรถบรรทุก เป็นไปตามประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักรถบรรทุก หรือน้ำหนักเพลาลงเกินกว่าที่ได้กำหนด หรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย วิ่งบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน ฉบับลงวันที่ 22 ธันวาคม 2548

มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม

เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณของมลพิษที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ ที่กำหนดให้เครื่องยนต์จะต้องปล่อยไอเสียและมลพิษต่างๆ ออกมาไม่เกินค่าที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยนิยมอ้างอิงตามมาตรฐานของกลุ่มสหภาพยุโรป ที่เรียกว่า

มาตรฐานยูโร ที่ถูกใช้โดยกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป โดยกลุ่มประเทศเหล่านี้ได้มีการวางกฎระเบียบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ได้เริ่มมีการควบคุมการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะอย่างเป็นระบบตั้งแต่ปีพ.ศ. 2535

มาตรฐานด้านความปลอดภัยของรถในระบบรถโดยสารประจำทาง

กรมการขนส่งทางบกมีการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยของรถในระบบรถโดยสารประจำทางตลอด 4 กระบวนการ อันได้แก่ การออกแบบรถ การผลิตรถ การดัดแปลงรถ และการบำรุงรักษาและการใช้งาน อาทิการทดสอบโครงสร้างความแข็งแรงของตัวรถโดยสาร, การทดสอบที่นั่งและจุดยึดที่นั่งของรถโดยสารประจำทาง, การทดสอบการพลิกคว่ำของรถโดยสาร, การชนด้านหน้าและด้านหลัง, ประตูละและทางออกฉุกเฉิน, การระบายอากาศ และอุปกรณ์ดับเพลิง เป็นต้น

มาตรฐานอุตสาหกรรม TS 16949

เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค ISO ที่มีอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับสหรัฐอเมริกาเยอรมัน มาตรฐานระบบคุณภาพยานยนต์ฝรั่งเศสและอิตาลี ในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั่วโลก ซึ่งระบุความต้องการของระบบที่มีคุณภาพสำหรับการออกแบบ พัฒนา การผลิต การติดตั้ง และการบริการของผลิตภัณฑ์ยานยนต์

2.1.2 มาตรฐานรถโดยสารประจำทางในประเทศไทย

มาตรฐานรถโดยสารประจำทางในประเทศไทย ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2524) ออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 แบ่งออกเป็น 7 มาตรฐาน ดังนี้

มาตรฐาน 1 รถปรับอากาศพิเศษ (รถโดยสารชั้นเดียว หรือรถโดยสารชั้นครึ่ง)

มาตรฐาน 2 รถปรับอากาศ

มาตรฐาน 3 รถที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

มาตรฐาน 4 รถสองชั้น

มาตรฐาน 5 รถพ่วง

มาตรฐาน 6 รถกึ่งพ่วง

มาตรฐาน 7 รถโดยสารเฉพาะกิจ

ข้อมูลจำนวนรถโดยสารประจำทางจากสำนักจัดระบบการขนส่ง กรมการขนส่งทางบกพบว่า รถโดยสารปรับอากาศมาตรฐาน 1, 2 และมาตรฐาน 4 ถูกนำมาใช้ในการขนส่งผู้โดยสารอย่างแพร่หลายในประเทศไทยปัจจุบัน ความแตกต่างทางกายภาพที่ชัดเจนระหว่างรถโดยสารทั้ง 3 ประเภท คือความสูงของตัวรถ จำนวนเบาะที่นั่งโดยสาร และขนาดของห้องโดยสาร



ก) รถโดยสารสองชั้น

ข) รถโดยสารชั้นครึ่ง

ค) รถโดยสารพื้นต่ำ

รูปที่ 2.1 ประเภทของรถโดยสารปรับอากาศ ตามข้อมูลกรมขนส่งทางบก

รถโดยสารเป็นรูปแบบการเดินทางที่สำคัญและมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการคมนาคมขนส่ง การท่องเที่ยวและการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้นความปลอดภัยในการใช้รถโดยสารจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างสูง ทุกขั้นตอนเริ่มจากกระบวนการออกแบบรถ การผลิตรถ จะต้องมีการตรวจสอบสภาพของรถโดยสารทุกคันเช่น สภาพความความปลอดภัยของแชชชีส์ ระบบเบรก ระบบไฟฟ้าต่างๆ เช่น ไฟหน้า ไฟเลี้ยว ไฟเบรกที่ท้ายรถ ทางออกฉุกเฉินบริเวณเพดานรถ และอุปกรณ์ดับเพลิง ก่อนการออกไปรับรองมาตรฐานและออกทะเบียนรถ อย่างไรก็ตาม แม้ว่ารถโดยสารได้มีการออกแบบและตรวจสอบมาตรฐานความปลอดภัยแล้วก็ตาม แต่เมื่อมีการใช้งานย่อมมีการเสื่อมสภาพตามอายุ ลักษณะการใช้และอัตราการใช้งาน เช่น รถโดยสารประเภท ม1ข, ม2 และ ม4ค. (กลุ่มรถโดยสารปรับอากาศชั้นครึ่ง ถึงสองชั้น) เป็นรถที่ได้รับความนิยมในการขนส่งผู้โดยสาร และยังสามารถบรรทุกผู้โดยสารจำนวนมาก 47-61 ที่นั่ง ย่อมมีการเสื่อมสภาพตามอายุสูงตามไปด้วยอันเนื่องมาจากลักษณะการใช้งานหนักและอัตราการใช้งานสูง (อีกทั้งบางส่วนมีการดัดแปลงเพื่อความสวยงามทำให้มาตรฐานความปลอดภัยด้อยลง เช่นการติดม่านบังแดดบบังป้ายแจ้งประตูหนีไฟ และการวางถังดับเพลิงไว้ในตำแหน่งหลบสายตา เพื่อไม่ให้เกิดทัศนวิสัยที่ไม่สวยงามในห้องโดยสาร ฯลฯ) ดังนั้นหากขาดการตรวจสอบสภาพการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ไม่ดีพอ การเกิดอุบัติเหตุจากรถโดยสารกลุ่มนี้ในแต่ละครั้ง จึงเกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินมากกว่าอุบัติเหตุที่เกิดจากรถยนต์ขนาดเล็กหรือรถยนต์ส่วนบุคคล แม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยจะมีการทบทวนหลักเกณฑ์และเงื่อนไขความปลอดภัยในระบบรถโดยสาร เช่นการออกพรบ.ความรับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสินค้าที่ไม่ปลอดภัยปี พ.ศ. 2551 ว่าด้วยผู้ประกอบการทุกคนต้องร่วมกันรับผิดชอบต่อผู้เสียหายในความเสียหายที่เกิดจากสินค้าไม่ปลอดภัย และสินค้านั้นได้มีการขายให้แก่ผู้บริโภคแล้ว ไม่ว่าความเสียหายนั้นจะเกิดจากการกระทำโดยจงใจหรือประมาทเลินเล่อของผู้ประกอบการหรือไม่ก็ตาม เพื่อยกระดับให้เทียบเท่าความปลอดภัยของการให้บริการรถโดยสารของต่างประเทศในอนาคต

2.2 การเผาไหม้/เพลิงไหม้

การเผาไหม้ (Combustion) หมายถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมี โดยปกติทั่วไปแล้วการเผาไหม้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการออกซิเดชันกับอากาศ จะให้ผลผลิตและความร้อนออกมา

เพลิงไหม้ หรืออัคคีภัย (Burn) หมายถึง ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ถ้าไม่สามารถควบคุมได้จะเกิดการติดต่อกลุกลงไปตามบริเวณที่มีเชื้อเพลิง เกิดการลุกลามไหม้ต่อเนื่อง สภาวะของไฟจะรุนแรงมากขึ้นถ้าการลุกลามไหม้มีเชื้อเพลิงหนุนเนื่องหรือมีไอของเชื้อเพลิงถูกขับออกมามาก ความร้อนแรงก็จะมากยิ่งขึ้น สร้างความสูญเสียให้ชีวิตและทรัพย์สิน

การเผาไหม้ ต้องการปัจจัย 3 อย่าง ได้แก่

- 1) ออกซิเจน (Oxygen) ไม่ต่ำกว่า 16 % (ในบรรยากาศปกติ มีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21 %)
- 2) เชื้อเพลิง (Fuel) ส่วนที่เป็นไอ (เชื้อเพลิงไม่มีไอ ไฟไม่ติด)
- 3) ความร้อน (Heat) ที่เพียงพอทำให้เกิดการลุกลามไหม้

การดับไฟ เป็นทฤษฎีที่ตรงข้ามกับทฤษฎีการติดไฟหรือการเผาไหม้ นั่นคือการจำกัดองค์ประกอบการเกิดเพลิงไหม้อย่างหนึ่งอย่างใดใน 3 ปัจจัยออก เพื่อควบคุมปริมาณการเผาไหม้หรือเรียกว่าทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ไฟดับ ได้แก่

- 1) การลดปริมาณออกซิเจนในอากาศจาก 21% ให้ต่ำกว่า 16%
- 2) การกำจัดเชื้อเพลิงออก
- 3) ลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงให้ต่ำกว่าจุดที่ติดไฟ

เมื่อจำกัดองค์ประกอบทั้ง 3 อย่าง จึงเป็นการจำกัดปฏิกิริยาลุกลามของการเผาไหม้ หรือการดับเพลิงไหม้นั่นเอง

2.2.1 เชื้อเพลิงและการเกิดปฏิกิริยา/สัดส่วนของการเกิดปฏิกิริยา

เชื้อเพลิง (Fuels) หมายถึง สารที่เกิดการสันดาปได้ง่ายในอากาศ และสามารถปลดปล่อยพลังงานออกได้ เชื้อเพลิงโดยปกติจะประกอบด้วยสารคาร์บอนเป็นหลัก ส่วนปริมาณสารไฮโดรเจนจะมีปริมาณไม่เกิน 14% ส่วนออกซิเจนและสารอื่นๆ อีกจำนวนเล็กน้อย โดยแบ่งชนิดของเชื้อเพลิงตามสถานะได้แก่ เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงก๊าซ

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

วิธีเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

- 1) Liquid Surface Combustion เป็นการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟด้วยการแผ่รังสีหรือด้วยการพาความร้อนให้แก่ผิวหน้าของเชื้อเพลิงทำให้เกิดการระเหย แล้วนำไอระเหยที่เกิดขึ้น

ไปสัมผัสกับอากาศทำให้เกิดการเผาไหม้แบบ Diffusion Combustion ขึ้นเหนือผิวหน้าของของเหลว

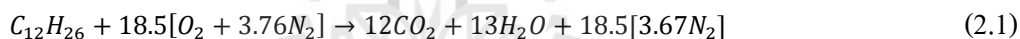
2) Wick Combustion จะนำเชื้อขนาดใหญ่มากที่ทำจากฝ้ายหรือใยแก้ว หรือผ้าหนาจุ่มลงไปน้ำมัน เพื่อดูดเชื้อเพลิงขึ้นมาด้วยปรากฏการณ์ Capillary แล้วใช้การพาความร้อนหรือการแผ่รังสีจากเปลวไฟถ่ายเทความร้อนให้ระเหยและเผาไหม้

3) Evaporating Combustion จะให้ความร้อนด้วยเปลวไฟแก่เชื้อเพลิงที่ไหลอยู่ในท่อ ทำให้เชื้อเพลิงเหลวระเหย และเผาไหม้ด้วยวิธีเดียวกับเชื้อเพลิงก๊าซ

4) Spray Combustion จะใช้หัวฉีดพ่นเชื้อเพลิงเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ ที่มีขนาดไม่กี่ไมโครเมตรถึงหลายร้อยไมโครเมตรเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระเหยแล้วนำไปเผาไหม้

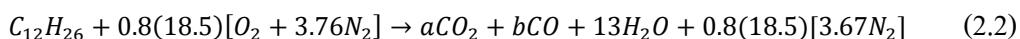
การเผาไหม้สมบูรณ์

ปฏิกิริยาของการเผาไหม้สมบูรณ์ จะได้ผลผลิตออกมาอยู่ในรูปของ CO_2 และ H_2O ดังตัวอย่างการเผาไหม้ของ Diesel ($C_{12}H_{26}$) กับออกซิเจนในอากาศ ตามสมการที่ 1 ใช้ ออกซิเจนจำนวน 18.5 kmol เผาไหม้พอดีกับ $C_{12}H_{26}$ จำนวน 1 kmol ได้ผลผลิตของ CO_2 จำนวน 12 kmol และ H_2O จำนวน 13 kmol และอื่นๆเช่นไนโตรเจน



การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ปฏิกิริยาของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะพิจารณาจากเทอมของผลผลิต (Product) ซึ่งจะออกมาในรูปของ CO , CO_2 , H_2O , H_2 หรือ OH ดังตัวอย่างการเผาไหม้ของ Diesel ($C_{12}H_{26}$) กับออกซิเจนในอากาศ 80% ของอากาศแห้งทางทฤษฎี ตามสมการที่ 2

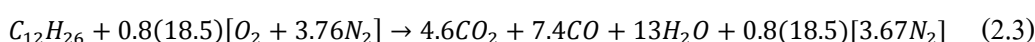


ตามกฎ “อนุรักษ์มวลและอะตอม” จะได้ความสัมพันธ์ของคาร์บอน และออกซิเจน ดังนี้

$$\text{สมดุลคาร์บอน} : a+b = 12$$

$$\text{สมดุลออกซิเจน} : 0.8(18.5)2 = 13 + 2a+b$$

ดังนั้นจะได้ $a = 4.6$ และ $b = 7.4$



จากสมมูลมวลและโมลอะตอมในสมการที่ 3 ออกซิเจนจำนวน 0.8×18.5 kmol เผาไหม้พอดีกับ $C_{12}H_{26}$ จำนวน 1 kmol ได้ผลผลิตของ CO_2 จำนวน 4.6 kmol CO จำนวน 7.4 kmol H_2O จำนวน 13 kmol และอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน เถ้า หรือ OH

2.2.2 ก๊าซอันตรายที่เป็นส่วนประกอบของควันไฟ

ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้หรือส่วนประกอบของควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ นอกจากจะมีอนุภาคแข็ง ฝุ่นละออง เถ้าถ่าน รวมทั้งความชื้นแล้ว ยังมีก๊าซอันตรายมากมายหลายชนิด สถาบันสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานแห่งชาติ (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH) เป็นองค์กรทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยให้คำแนะนำรวมถึงออกมาตรฐานความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสหรัฐอเมริกา ระบุถึงก๊าซอันตรายที่เป็นส่วนประกอบของควันไฟ ดังต่อไปนี้

1) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CARBON MONOXIDE) เป็นก๊าซที่ไม่มีจุดวาบไฟ (Flash Point) แต่สามารถลุกไหม้ด้วยตัวเองได้ (Self Ignition) ที่อุณหภูมิ 660 องศาเซลเซียส ย่านส่วนผสมในอากาศที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ร้อยละ 12-75 และเป็นก๊าซที่มีอันตรายอย่างสูงต่อคนและเกิดขึ้นได้มากเสมอในการเผาไหม้ในบริเวณจำกัดผลกระทบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ในระดับที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังนี้

ระดับความเข้มข้นเกินร้อยละ 0.05 : มีอันตราย

ระดับความเข้มข้นเกินร้อยละ 0.16 : ทำให้หมดสติใน 2 ชั่วโมง

ระดับความเข้มข้นเกินร้อยละ 1.26 : จะหมดสติภายใน 1 ถึง 3 นาทีของการหายใจและอาจถึงชีวิตได้

นอกจากความเป็นพิษแล้วก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ยังเป็นก๊าซเชื้อเพลิงอีกด้วย เมื่อมีความเข้มข้นในอากาศสูง ๆ สามารถลุกไหม้และเกิดการระเบิดได้อย่างรุนแรงดังนั้นเพลิงไหม้ในบริเวณที่โล่งแจ้งจะมีอันตรายจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยลงไป

2) ก๊าซอะโครลีน (ACROLEIN) เป็นก๊าซเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงประเภทไม้ วัสดุประเภทใยสังเคราะห์ สารโพลีเอธีลีน สีและสารที่เป็นไขมัน มีจุดวาบไฟที่ - 26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลุกไหม้ด้วยตัวเองที่ 232 องศาเซลเซียส มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ที่ร้อยละ 3-31 และเป็นก๊าซที่มีอันตรายสูงประมาณ 150-240 ppm. ในอากาศ ทำให้ผู้สูดหายใจเสียชีวิตได้ภายใน 30 นาที เมื่อได้รับจะทำให้คนเจ็บสูญเสียอวัยวะสัมผัส เช่น ตา และการหายใจไม่ออก ซึ่งทำให้ไม่สามารถจะหลบหนีออกจากบริเวณอันตรายได้ทัน

3) ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HYDROGEN CYANIDE) เป็นก๊าซพิษที่มีความรุนแรงมากกว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มาก ก๊าซนี้เกิดจากการเผาไหม้สารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจน ที่มีองค์ประกอบของคลอรีน เช่นพวกพลาสติก ยาง เส้นใย ขนสัตว์ หนังสือพิมพ์ หรือผ้าไหม เป็นก๊าซที่เบากว่าอากาศจึงมีอันตรายมากในการเผาไหม้ในอาคารหรือบริเวณจำกัดต่าง ๆ อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในสงคราม เป็นก๊าซที่ค่อนข้างไวไฟ จุดวาบไฟอยู่ที่ -17 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลุกไหม้ด้วยตัวเองอยู่ที่ 537 องศาเซลเซียส ยานส่วนผสมในอากาศที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้อยู่ที่ร้อยละ 5-40 และเมื่อส่วนผสมในอากาศ 100 ppm. มีผลให้ผู้สูดดมหมดสติและเสียชีวิตได้ในเวลา 30-60 นาที

4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CARBON DIOXIDE) เกิดจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แบบ ไม่เป็นเชื้อเพลิงและไม่ก่ออันตรายแก่ร่างกายโดยตรงแต่จะทำให้ร่างกายขาดออกซิเจนถ้าก๊าซนี้มีความเข้มข้นในอากาศเกินกว่าร้อยละ 5.0 โดยปริมาตร จะมีอันตรายและทำให้ผู้สูดดมหมดสติได้ ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ในระดับความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังนี้

ระดับความเข้มข้น 50 - 200 ppm. : ปวดศีรษะเล็กน้อยและอ่อนเพลีย

ระดับความเข้มข้น 200 - 400 ppm. : คลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะอย่างรุนแรงและอาจถึงขั้นเป็นลม

ระดับความเข้มข้น 1,200 ppm. : อาการหัวใจเต้นเร็วขึ้นผิดปกติ และเริ่มเดินผิดปกติ

ระดับความเข้มข้น 2,000 ppm. : อาการอาจถึงขั้นหมดสติ และอาจถึงเสียชีวิต

ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm. : อาจทำให้เสียชีวิตภายในไม่กี่นาทีแต่อาจจะรอดชีวิตถ้ารีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณอับอากาศมาสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์หรือมีออกซิเจนเพียงพอ

5) ก๊าซฟอสจีน (PHOSGENE) เกิดจากการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคลอรีน เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์หรือคลอ (น้ำยาทำความสะอาด) หรือเอทิลีนไดคลอไรด์ เป็นก๊าซที่เป็นพิษสูงมาก ได้รับเพียง 25 ppm. ในอากาศในเวลา 30-60 นาทีก็อาจเสียชีวิตได้

6) ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (HYDROGEN CHLORIDE) เป็นก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาไหม้สารที่มีองค์ประกอบของคลอรีนมีสภาพเป็นกรดและทำอันตรายได้เช่นกันแม้จะไม่รุนแรงเท่ากับก๊าซฟอสจีนหรือก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ก็ตาม

7) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (HYDROGEN SULFIDE) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของวัสดุพวก ยาง พรม ไม้ ขนสัตว์หรือวัสดุอื่นใดที่มีกำมะถันผสมอยู่ เป็นก๊าซที่มีอันตรายมากเพียง 400 - 700 ppm. ในอากาศได้รับนาน 30 - 60 นาที ทำให้เสียชีวิตนอกจากนี้ยังเป็นก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งถูกติดไฟได้อีกด้วยแต่ไม่ถึงขั้นเกิดระเบิด มีกลิ่นคล้ายไข่เน่ามักจะเรียกว่า “ก๊าซ

“ไฉเนา” มีฤทธิ์ทำลายเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้มากก๊าซชนิดนี้หนักกว่าอากาศ เมื่อเกิดการเผาไหม้จึงกระจายตัวอยู่ในบริเวณความสูงที่ต่ำ

8) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SULFUR DIOXIDE) เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ของกำมะถันในอากาศ เป็นก๊าซพิษความเข้มข้นเพียง 150 ppm. ในอากาศใช้สังหารคนได้ในเวลา 30 - 60 นาทีเมื่อผสมกับน้ำหรือความชื้นที่ผิวหนัง จะเกิดกรดกำมะถันซึ่งมีฤทธิ์กัดอย่างรุนแรงผู้ได้รับก๊าซนี้จึงมีอาการสำลักและหายใจไม่ออกอย่างฉับพลัน

9) ก๊าซแอมโมเนีย (AMMONIA) เกิดจากการเผาไหม้ไม้ ขนสัตว์ผ้าไหม น้ำยาทำความสะอาด หรือสารอื่นที่มีสารประกอบของไนโตรเจน และไฮโดรเจนมีกลิ่นฉุนรุนแรง ทำให้เกิดความรำคาญ และทำลายเนื้อเยื่อแต่ไม่มีตัวเลขส่วนผสมที่ทำให้เสียชีวิต

10) ออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจน (OXIDE OF NITROGEN) ได้แก่ก๊าซไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และไนโตรเจนเตตระออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้พวกไม้ จี๊เหล็ย พลาสติก ยางที่มีไนโตรเจนผสมสีและแล็กเกอร์บางชนิด ปริมาณ 100 ppm. ในอากาศทำให้เสียชีวิตได้ใน 30 นาที

11) ไอโลหะ (METAL FUMES) คือ ไอของโลหะหนักต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะนั้นได้รับความร้อนสูง เช่น ไอปรอท ไอตะกั่ว ไอสังกะสี ไอดีบุกส่วนใหญ่เพลิงไหม้โรงผลิตหรือโรงเก็บอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดไอโลหะได้มากและไอเหล่านี้มีอันตราย

12) เเขม่าและควันไฟ (SOOT AND SMOKE) เเขม่า คือก้อนหรือเศษของวัสดุที่ยังเผาไหม้ไม่หมด จะมีลักษณะเป็นผงหรือละออง ส่วน ควันไฟเป็นสารผสมระหว่างเเขม่า จี๊เถ้า และวัสดุต่าง ๆ ที่เกิดมาจากกองเพลิงรวมทั้งพวกก๊าซและไอต่าง ๆ ด้วย ผลของเเขม่าและควันไฟคือทำให้ผู้ป่วยสำลักและอาจถูกเผาที่ผิวหนังหรือตามตัว รวมทั้งปิดบังทางออกต่างๆ ทำให้หนีออกจากบริเวณอันตรายไม่ได้

นอกจากนี้แล้วยังมีก๊าซชนิดอื่นที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ โดยขึ้นอยู่กับว่าเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้นั้นเป็นเชื้อเพลิงชนิดใด

ทั้งนี้ปริมาณออกซิเจนที่ลดลงในพื้นที่ ที่มีการเผาไหม้หรือเรียกได้อีกว่า พื้นที่อับอากาศ ซึ่งจะเกิดบรรยากาศเป็นอันตราย (Hazardous Atmosphere) ที่เป็นหลักมีอยู่ 3 ลักษณะได้แก่

1) บรรยากาศขาดออกซิเจน (Oxygen Deficient Atmosphere)

เมื่อปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศของพื้นที่ใดก็ตาม มีน้อยกว่าร้อยละ 19.5 จะถือว่าเป็นบรรยากาศขาดออกซิเจน สาเหตุที่ทำให้ออกซิเจนลดลงคือ เมื่อถูกใช้ไปแล้วไม่มีอากาศใหม่เข้ามาเติมทั้งใช้ในการหายใจ รวมทั้งถูกแทนที่ด้วยก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ดังที่กล่าวข้างต้น โดยปกติ ออกซิเจนในบรรยากาศปกติมีอยู่ประมาณร้อยละ 21 โดยอัตราร้อยละ 19.5เป็นขั้นต่ำสุดที่คนสามารถอาศัยอยู่ได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ และหากปราศจากเครื่องช่วยหายใจเมื่อ

ปริมาณออกซิเจนลดลงเหลือร้อยละ 16 หรือน้อยกว่าก็จะเกิดอาการสมองมึนงง ประสาทรับรู้ผิดปกติ หายใจลำบาก เหลือร้อยละ 14 หรือน้อยกว่า กระบวนการตัดสินใจจะผิดพลาด เหนื่อยและเมื่อยล้าอย่างรวดเร็ว เหลือร้อยละ 6 หรือน้อยกว่าจะหายใจไม่ออกและเสียชีวิตในอีกไม่กี่นาทีต่อมา

2) บรรยากาศมีความไวไฟ (Flammable Atmosphere)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดบรรยากาศไวไฟขึ้นในพื้นที่อับอากาศ นั้นคือ 1)ออกซิเจน และ 2) ก๊าซ ไอสาร หรือฝุ่นควันที่มีคุณสมบัติไวไฟ หากสองสิ่งรวมตัวกันในอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะแล้วสัมผัสความร้อน ประกายไฟ หรือสะเก็ดไฟ จะทำให้เกิดการระเบิดหรือลุกไหม้รุนแรง ในกรณีของออกซิเจนอย่างเดียว หากมีปริมาณร้อยละ 21 เรียกว่า “ออกซิเจนล้น”หรือ “Rich Oxygen” จะมีผลทำให้วัตถุไวไฟต่างๆ รวมทั้งเสื้อผ้าและเส้นผมของมนุษย์ลุกไหม้รุนแรงเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นจึงมีข้อห้ามในการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ภายในพื้นที่อับอากาศ

3) บรรยากาศมีความเป็นพิษ (Toxic Atmosphere)

ก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีหน้าที่ในการพาออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ดีกว่าออกซิเจนมาก ทำให้เม็ดเลือดแดงที่เคยดูดซับออกซิเจนและพาออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดูดซับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์แทน ดังนั้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงเป็นอุปสรรคต่อการอพยพหนีไฟอย่างมาก เนื่องจากการที่ปริมาณออกซิเจนในเลือดมีระดับต่ำจะมีผลโดยตรงกับการทำงานทุกส่วนของร่างกาย ทำให้เกิดอาการมึนงงไม่สามารถควบคุมตัวเอง หมดสติ และเสียชีวิตจากเหตุการณ์เพลิงไหม้นั้นเอง

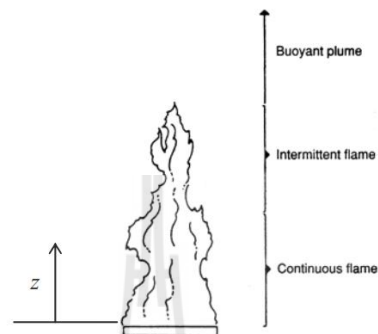
2.3 ทฤษฎีของลำควัน (Plume Theory)

ลำควันหรือพลุมน (Plume) คือ ลำของควันร้อนซึ่งเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่ลอยตัวขึ้นไปในแนวดิ่งเนื่องจากแรงลอยตัว สำหรับลำควันแบบสมมาตร (Axis Symmetric Plume) ดังรูปที่ 2.2 McCaffrey ได้แบ่งช่วงของลำควันสมมาตรออกเป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame) คือช่วงความสูงซึ่งวัดจากผิวหน้าของกองเพลิงจนถึงระดับสูงสุดที่มีเปลวไฟปรากฏอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงและอากาศเกิดการเผาไหม้ อุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จึงมีค่าสูง ซึ่งโดยประมาณจะเท่ากับอุณหภูมิของของเปลวไฟนั่นเอง

2) ช่วงเปลวไฟบางส่วน (Intermittent Flame) คือช่วงความสูงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศเกือบจะสมบูรณ์แล้วทำให้มองเห็นเปลวไฟปรากฏอยู่เพียงบางส่วนบางช่วงเวลา ไม่ต่อเนื่อง ความเร็วการไหลในแนวดิ่งของลำควันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ การไหลเดิมของอากาศจากภายนอกเข้ามาผสมกับควันทำให้อัตราการไหลของลำควันเพิ่มขึ้นตามความสูง

3) ช่วงพลุ้ม (Plume) เป็นช่วงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเสร็จสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นลำควันในช่วงนี้จะประกอบไปด้วยควันร้อนและอากาศซึ่งไหลเดิมจากบรรยากาศโดยรอบเท่านั้น ความเร็วและอุณหภูมิของลำควันในช่วงนี้จะแปรผกผันกับความสูง เนื่องจากมีอากาศซึ่งเย็นกว่าโดยรอบไหลเข้ามาผสมเจือจางให้ควันเย็นลง



รูปที่ 2.2 ลำควันสมมาตร (Axisymmetric Plume)

McCaffrey ได้ศึกษาพฤติกรรมของลำควันสมมาตรโดยทำการทดลองจากกองเพลิงแก๊ส Methane พื้นที่การเผาไหม้ขนาด $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 14.4 - 57.5 kW แล้วบันทึกอุณหภูมิและความเร็วของควันตามแนวแกนของลำควัน จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีมิติไร้นหน่วย และได้เสนอสมการเพื่อประมาณค่าอุณหภูมิและความเร็วของลำควันที่ระดับความสูงต่างๆตามแนวแกนของลำควันดังนี้

อุณหภูมิของลำควัน

$$\text{ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง} \quad z / \dot{Q}^{2/5} < 0.08 \quad : \Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 2.91 T_\infty \quad (2.4)$$

$$\text{ช่วงเปลวไฟบางส่วน} \quad 0.08 < z / \dot{Q}^{2/5} < 0.2 \quad : \Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 0.227 \left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z} \right) T_\infty \quad (2.5)$$

$$\text{ช่วงพลุ้ม} \quad z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2 \quad : \Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 0.076 T_\infty \left(\frac{\dot{Q}^{2/5}}{z} \right)^{5/3} \quad (2.6)$$

ความเร็วของลำควัน

ช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง $z / \dot{Q}^{2/5} < 0.08$: $u_0 = 6.8z^{1/2}$ (2.7)

ช่วงเปลวไฟบางส่วน $0.08 < z / \dot{Q}^{2/5} < 0.2$: $u_0 = 1.9\dot{Q}^{1/5}$ (2.8)

ช่วงพลุมน $z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2$: $u_0 = 1.1z^{-1/3}\dot{Q}^{1/3}$ (2.9)

เมื่อ T_0 คือ อุณหภูมิของลำควัน (K),
 T_∞ คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (เท่ากับ 298 K),
 u_0 คือ ความเร็วของลำควัน (m/s),
 z คือ ความสูงในแนวดิ่งวัดจากผิวหน้าของเชื้อเพลิง
 \dot{Q} คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิง (kW)

นอกจากนี้ สมการของ Heskestad ได้เสนอสมการสำหรับช่วงพลุมนโดย

อุณหภูมิของลำควัน $z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2$: $\Delta T_0 = T_0 - T_\infty = 25 \left(\frac{\dot{Q}_c^{2/5}}{z - z_0} \right)^{5/3}$ (2.10)

ความเร็วของลำควัน $z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2$: $u_0 = \left(\frac{\dot{Q}_c}{z - z_0} \right)^{1/3}$ (2.11)

เมื่อ $z_0 = 0.083\dot{Q}^{2/5} - 1.02D$ (2.12)

\dot{Q}_c คือ พลังงานความร้อนของกองเพลิงโดยการพาความร้อน (kW) $\approx 0.7\dot{Q}$

z_0 คือ จุดกำเนิดเสมือนของกองเพลิง (m)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางกองเพลิง (m)

โดย $D = \sqrt{4A/\pi}$ A คือ พื้นที่ของกองเพลิง (m²)

2.4 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

การไหลมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรม เช่นการออกแบบยานยนต์และอากาศยานต่างๆ เพื่อวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง การออกแบบการไหลเวียนและระบายอากาศในอาคาร เป็นต้น ความยุ่งยากซับซ้อนของการคำนวณทางด้านของไหล มักเกิดจาก 3 สาเหตุหลัก คือ สมการควบคุม (Governing Equation) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) และรูปทรงของปัญหา (Geometry) การแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมเพื่อหาคำตอบ สามารถทำได้ 3 แนวทางคือ

วิธีเชิงการวิเคราะห์ เป็นการแก้สมการควบคุม (Governing Equation) ของปัญหาโดยตรง โดยใช้กฎเกณฑ์ทางแคลคูลัส ตรีโกณมิติ พีชคณิตและอื่นๆเข้าช่วย ให้ได้มาซึ่งผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Analysis Solution) หรือผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution)

วิธีทดลอง ถูกใช้เมื่อปัญหามีความยาก จนไม่สามารถแก้สมการควบคุมได้ ข้อดีของแนวทางนี้คือได้ข้อมูลที่สมจริงเพราะวัดจากตัวปัญหาจริง ข้อด้อยคือใช้ไม่ได้ผลกับทุกปัญหา ผลสัมฤทธิ์ของการทดลอง ขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือ และขีดจำกัดของเครื่องมือวัดและผู้วัด

วิธีเชิงตัวเลข เป็นแนวทางที่ช่วยแก้ไขข้อจำกัดของทั้งสองแนวทางข้างต้นได้เกือบทั้งหมด เป็นการแก้ปัญหาคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ วิธีเชิงตัวเลขอาศัยการประมาณค่าช่วยหาผลเฉลย ณ จุดที่สนใจ ความแม่นยำของผลเฉลยขึ้นอยู่กับจำนวนจุดและวิธีประมาณค่าที่ใช้ในการคำนวณ ผลเฉลยที่ได้เรียกว่าผลเฉลยเชิงตัวเลข ซึ่งเป็นผลเฉลยโดยประมาณ (Approximation Solution)

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) เรียกว่า “ซีเอฟดี” คือ การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลต่างๆ การถ่ายเทความร้อน การแพร่กระจายของอนุภาค รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยหาผลเฉลยและจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้น หรืออาจจะเรียกได้ว่า ซีเอฟดี คือวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล พื้นฐานของซีเอฟดีคือสมการนาเวียร์-สโตกส์ ซึ่งกล่าวถึงการไหลของของไหลหนึ่งเฟส สมการเหล่านี้สามารถลดทอนความยากลงได้ด้วยการย้ายพจน์ที่เกี่ยวกับความหนืดออกเพื่อให้ได้สมการอยเลอร์ จากนั้นจึงย้ายพจน์ที่เกี่ยวกับความเร็วเพื่อให้ได้สมการศักย์สมบูรณ์ (Full potential equations) จากนั้นจึงทำให้เป็นสมการศักย์เชิงเส้นตรง (Linearized potential equation) ด้วยเทคโนโลยีช่วยคำนวณในช่วงแรกยังไม่พัฒนามาก การคำนวณการจำลองการไหลยังคงอยู่ในแบบจำลองเพียงสองมิติเท่านั้น ต่อมาวิวัฒนาการของคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาขึ้นเป็นอย่างมาก การจำลองการไหลแบบสามมิติจึงเกิดขึ้น โดยบริษัทและองค์กรด้านการบินต่างๆ ความสำเร็จของการประยุกต์ใช้วิธีซีเอฟดี ส่งผลให้ภายหลังมีการนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ปัญหาในภาคอุตสาหกรรมและงานวิจัยต่างๆ อาทิเช่น การไหลของอากาศผ่านรถยนต์และอากาศยานเพื่อหาแรงยกและแรงต้าน การไหลของกระแสน้ำผ่านลำเรือ การเผาไหม้ภายในกระบอกสูบและกังหันก๊าซ การไหลของของไหลผ่าน

ปั๊มและเครื่องอัดไอ การหล่อเย็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กระบวนการทางด้านเคมี การไหลและการถ่ายเทความร้อนผ่านดักและตัวอาคาร การกระจายมลภาวะในอากาศและน้ำ การไหลของน้ำในแม่น้ำ ลำธารและมหาสมุทร การทำนายสภาพอากาศ การไหลของเลือดในระบบหมุนเวียนของร่างกาย เป็นต้น

2.4.1 กระบวนการซีเอฟดี

การสร้างสมการเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ของการไหลทำได้ไม่ยากนัก สิ่งที่ยากคือการแก้สมการหาผลเฉลย แม้อคอมพิวเตอร์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการคำนวณได้ถูกนำมาช่วยแก้สมการการไหล แต่คอมพิวเตอร์ก็เข้าใจเพียงตรรกะแบบพีชคณิต(บวก ลบ คูณ หาร) ไม่เข้าใจตรรกะแบบอนุพันธ์คณิต ด้วยเหตุนี้ การแก้สมการควบคุมการไหลโดยคอมพิวเตอร์จึงต้องใช้เทคนิคพิเศษเข้าช่วย เพื่อแปลงสิ่งที่มนุษย์เข้าใจ(อนุพันธ์คณิต) ให้เป็นสิ่งที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ(พีชคณิต) กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า ดิสครีไทเซชัน (Discretization)



รูปที่ 2.3 กระบวนการดิสครีไทเซชัน

ดิสครีไทเซชัน

กระบวนการดิสครีไทเซชันมีหลายวิธี แต่ที่นิยมนำมาประยุกต์แก้ปัญหาลักษณะมี 3 วิธี คือ

วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method : FDM) เป็นวิธีที่เสนอโดย Euler วิธีนี้ประยุกต์อนุกรมเทย์เลอร์ในการประมาณค่าพจน์อนุพันธ์ย่อยของสมการให้เป็นพีชคณิต สมการพีชคณิตจะถูกนำไปประยุกต์เข้ากับแต่ละจุดโหนด วิธีนี้มักประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีรูปทรงไม่ซับซ้อน มีการกระจายตัวของกริดอย่างเป็นระเบียบ

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method : FEM) วิธีนี้จะแบ่งโดเมนปัญหาออกเป็นอิเลเมนต์ย่อยๆ ในการประมาณค่าสมการอนุพันธ์ย่อย วิธีนี้จะมีการคูณด้วยฟังก์ชันรูปแบบ (Shape or Weight Function) ก่อนการอินทิเกรตรอบโดเมน ข้อดีของระเบียบวิธีนี้คือใช้ได้กับ

โดเมนที่มีปัญหาซับซ้อน และง่ายในการเพิ่มความละเอียดหรือเปลี่ยนฟังก์ชันรูปแบบของอิเลเมนต์ อย่างไรก็ตามสำหรับปัญหาทางด้านของไหลที่มีการปั่นป่วน การหาฟังก์ชันรูปแบบจะมีความยาก และซับซ้อน ส่งผลให้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์มีขีดความสามารถจำกัดในการประยุกต์แก้ปัญหาทางด้านของไหล

วิธีไฟไนต์โวลุ่ม (Finite Volume Method : FVM) เป็นวิธีที่คล้ายกับระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์ในหลายแง่ เช่นความสามารถในการแก้ปัญหาโดเมนที่ซับซ้อนได้ การแบ่งโดเมนให้เป็นปริมาตรควบคุมเล็กๆที่เรียกว่า “เซลล์” เป็นต้น ระเบียบวิธีนี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์โดยอาศัยการประมาณค่าสมการควบคุมด้วยการอินทิเกรตรอบปริมาตรควบคุมย่อย โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงภายในปริมาตรควบคุมซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหลเข้าออกของคุณสมบัติผ่านผิวควบคุม ดังนั้นในแต่ละสมการพีชคณิตที่ได้จากการแปลงสมการควบคุมในรูปสมการอนุพันธ์ย่อย ปรากฏผลของเซลล์ข้างเคียงด้วย หลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์โวลุ่ม จึงมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมทางกายภาพของการไหล ดังนั้นจึงนิยมประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหการไหล

2.4.2 ขั้นตอนของซีเอฟดี

โปรแกรมซีเอฟดีที่พัฒนาขึ้นเองหรือซอฟต์แวร์ซีเอฟดีสำเร็จรูป มีการทำงานแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

การประมวลผลก่อน (Pre-processor) ประกอบด้วยการกำหนดข้อมูลให้กับโปรแกรม ได้แก่ สร้างรูปทรงของโดเมน ที่จะวิเคราะห์ สร้างกริดหรือปริมาตรควบคุมหรืออิเลเมนต์ การกำหนดค่าคุณสมบัติของการไหล เป็นต้น ความแม่นยำของผลเฉลยที่แก้ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง หนึ่งในปัจจัยหลักคือจำนวนจุดต่อใช้ โดยทั่วไปจำนวนจุดต่อมากย่อมได้ความถูกต้องมากกว่าการใช้จำนวนจุดต่อน้อย แต่จำนวนจุดต่อมากย่อมใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน เวลาประมาณ 50% ของที่ใช้ทั้งหมดถูกใช้ไปกับการเตรียมของมูลกริดที่เหมาะสมให้กับปัญหา ดังนั้นการป้อนข้อมูลให้การคำนวณเพื่อแก้ปัญหาต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของจำนวนจุดต่อที่ใช้เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ถูกต้องยอมรับได้ และใช้เวลาประมวลผลที่ไม่นานเกินไป

การประมวลผล (Processor) เป็นขั้นตอนการเลือกใช้รูปแบบดิสกรีไทเซชันเพื่อสร้างสมการดิสกรีไทส์ โดยปกติในซอฟต์แวร์ซีเอฟดีแต่ละแบบจะถูกพัฒนามนกระบวนกราดิสกรีไทเซชันเพียงอันใดอันหนึ่ง ในขั้นตอนการประมวลผลนี้ ผู้พัฒนาหรือผู้ใช้ซอฟต์แวร์จะต้องเลือกแบบแผนการประมาณค่าเชิงตัวเลข (Numerical scheme) ที่เหมาะสมให้กับการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลคำนวณที่ได้มีความแม่นยำและมีเสถียรภาพตามต้องการ

การประมวลผลหลัง (Post-processor) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการซีเอฟดี ขั้นตอนนี้รับค่าผลเฉลยจากขั้นตอนการคำนวณมาแสดงผลในรูปแบบของกราฟฟิกต่างๆ เช่น

รูปร่างของปัญหาและกริด กราฟเวกเตอร์ กราฟคอนทัวร์ กราฟพื้นผิว การเปลี่ยนตำแหน่ง เช่น การเคลื่อนตัว การหมุน เป็นต้น (กิริติ สุกฤษณ์, 2553)

2.4.3 สมการควบคุมการไหล

สมการควบคุมการไหลล้วนถูกสร้างบนกฎมูลฐานของ

1) ความอนุรักษ์มวล ที่ว่ามวลย่อมไม่เพิ่มขึ้นหรือสูญหายไปจากระบบ

สมการอนุรักษ์มวล หรือสมการอนุรักษ์ความต่อเนื่อง (Continuity equation) ใน 3 มิติ สำหรับการไหลที่ขึ้นกับเวลา

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2.13)$$

2) ความอนุรักษ์โมเมนตัม ที่ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมย่อมเท่ากับผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมของการไหล ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{u})}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} \quad (2.14)$$

3) ความอนุรักษ์พลังงาน ที่ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานย่อมเท่ากับผลรวมของอัตราความร้อนกับอัตราของงานสุทธิที่กระทำกับปริมาตรควบคุมของการไหล ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\frac{\partial (\rho C_p T)}{\partial t} + \rho C_p \nabla \cdot (T \mathbf{u}) = k \nabla^2 T - p \nabla \cdot \mathbf{u} + q \quad (2.15)$$

4) ความอนุรักษ์สปีชีส์หรือมวลย่อย (Conservation of Species Equation)

$$\frac{\partial (\rho Y_i)}{\partial t} + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i^m \quad (2.16)$$

จากสมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน จะมีองค์ประกอบของสมการที่มีพจน์ความเค้นหนืดที่ไม่สามารถจัดการ หรือแปลงพจน์ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมได้ จึงอาศัย

สมมติฐานความเป็นฟังก์ชันกับอัตราการเปลี่ยนรูปเฉพาะที่ (Local Deformation Rate) หรืออัตราความเครียด (Strain Rate) ของของไหล ซึ่งการตั้งสมมติฐานเช่นนี้สอดคล้องกับพฤติกรรมและคุณสมบัติของของไหลส่วนใหญ่ สำหรับการไหลแบบ 3 มิติ ดังจะได้ “สมการนาเวียร์-สโตกส์” ดังนี้

$$\rho \frac{D_i}{D_t} = p(\nabla \cdot \bar{u}) + \nabla \cdot (k \nabla T) + \Phi + S_i \quad (2.17)$$

2.4.4 พลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics)

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการประเมินสถานะภายในห้องขณะเกิดเพลิงไหม้ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบควบคุมควันไฟภายในอาคารให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้ใช้กันอย่างกว้างขวาง และเป็นที่ยอมรับมากขึ้น ตัวอย่างโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่มีความสามารถหลายอย่างรวมถึงความสามารถในการคำนวณเกี่ยวกับพฤติกรรมเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องมาจากเพลิงไหม้ เช่น FLUENT, SOFIE, CFX, PHOENICS, STAR-CD และ FDS (Fire Dynamics Simulator)

จากโปรแกรมข้างต้นทั้งหมดนี้ FDS (Fire Dynamics Simulator) เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนามาโดยเฉพาะสำหรับวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัยจาก National Institute of Standards and Technology (NIST) ประเทศสหรัฐอเมริกา โปรแกรม FDS ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) บนพื้นฐานสมการอนุรักษ์มวล, อนุรักษ์โมเมนตัม และสมการพลังงานของไหล (Navier-Stroke Equation) ซึ่งโปรแกรมจะจำลองสถานะการไหลแบบปั่นป่วนด้วยระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) โดยใช้ Subgrid Scale Model ของ Smagorinsky โดยผลลัพธ์ของการจำลองนั้นทำให้ทราบถึงอุณหภูมิ ระยะการมองเห็น ความเร็ว และก๊าซผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิง โดยค่าควันจะเคลื่อนที่ตามลักษณะของโครงสร้างด้วยแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ขึ้นสู่เพดานและกระจายตัวออกในแนวระนาบกับเพดาน โดยค่าอุณหภูมิและความเร็วของค่าควันที่กระจายตัวขึ้นอยู่กับความสูงของช่องเปิดและอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate, HRR) ซึ่งเราเรียกพฤติกรรมนี้ว่า Ceiling Jet ในส่วนของการเผาไหม้เพื่อแก้ปัญหาขนาดของกริด ซึ่งไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศในการคำนวณซึ่งมีโมเดลการคำนวณที่มีขนาดใหญ่ FDS ได้ใช้แบบจำลอง Mixture Fraction Base Infinitely Fast Chemical Reaction บนสมมติฐานที่ว่า อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกควบคุมโดยอัตราที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน (Mixing Controlled) แทนที่ที่เชื้อเพลิงกับอากาศเข้าผสมกัน เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (Infinitely Fast Chemical

Reaction) ได้เป็นก๊าซผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ (ณัฐศักดิ์ บุญมี, 2549)

ในการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของควันและเพลิงไหม้ด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เราจำเป็นต้องมีการทดสอบกริดที่ใช้ในการคำนวณหรือการทำ Grid Refinement เพื่อศึกษาว่า ขนาดกริดมีผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณอย่างไร การคำนวณด้วยกริดขนาดเล็ก (Fine Grid) มีแนวโน้มที่ให้ผลการคำนวณที่แม่นยำสูงกว่าการใช้กริดขนาดใหญ่ (Course Grid) เนื่องจากสามารถคำนวณสภาวะการไหลแบบปั่นป่วนของควันและการเผาไหม้ของเปลวไฟได้ใน Length Scale ที่มีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามการใช้กริดขนาดเล็กจะใช้เวลาในการคำนวณมากตามไปด้วย นอกจากนี้ การจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้และการเคลื่อนที่ของควันในปัญหาจริงด้านวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย แทบเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้กริดมีขนาดเล็กเพียงพอต่อการคำนวณ ดังนั้นเราจำเป็นต้องมีการชั่งน้ำหนักระหว่างความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ในการจำลองพฤติกรรมของลำควัน ขนาดกริดที่เหมาะสมนอกจากจะสามารถจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของควันได้แล้ว ขนาดของกริดที่เหมาะสมจะสะท้อนถึงผลกระทบของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของควันมาพิจารณาประกอบด้วย

Ma และ Quintiere ได้จำลองการเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool Fire) โดยโปรแกรม FDS Version2.0 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของลำควัน และได้เสนอตัวแปรไร้มิติคือ R^* เพื่อเป็นพารามิเตอร์ที่รวมเอาขนาดกริดและอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงเข้าด้วยกัน โดย

$$R^* = \frac{\Delta z}{\left[\frac{Q}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right]^{2/5}} \quad (2.18)$$

เมื่อ R^* คือ ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้มิติ

Δz คือ ขนาดของกริด (m) ,

ρ_∞ คือ ความหนาแน่น

T_∞ คือ อุณหภูมิของอากาศ(K)

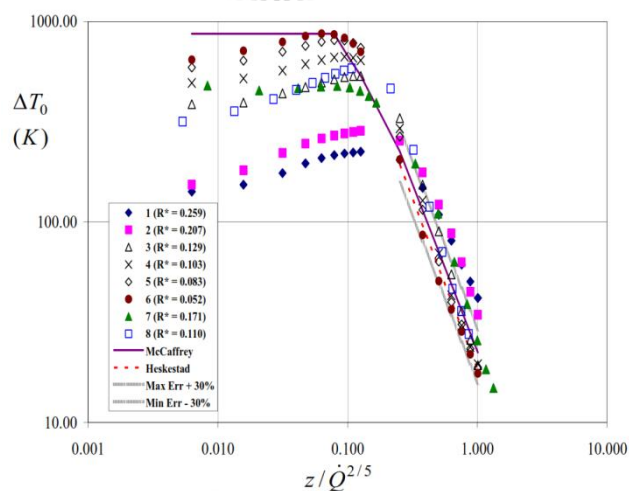
C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิห้อง

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

(Ma, T.G. and J.G. Quintiere, 2003)

R^* เท่ากับ 0.05 เป็นขนาดกริดที่ดีที่สุดที่ให้ผลการคำนวณอุณหภูมิของลำควันในช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง(Continuous Flame) มีความแม่นยำสูงสุดเมื่อเทียบกับการทดลอง ตามความเห็นของ Ma และ Quintiere อย่างไรก็ตาม R^* เท่ากับ 0.05 ก็เป็นขนาดกริดที่ละเอียดเกินไปสำหรับการจำลองการแผ่กระจายตัวของควันในอาคารหรือโดเมนการจำลองที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเสียเวลาในการคำนวณมาก นอกจากนี้ หากผลการคำนวณที่สนใจในการจำลองเพลิงไหม้ในช่วงพลุมนซึ่งเราสามารถใช้นาขนาดของกริดที่ใหญ่กว่า R^* เท่ากับ 0.05 ได้ เนื่องจากช่วงพลุมนมีขนาด Length Scale ที่ใหญ่กว่าช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง

ณัฐศักดิ์ บุญมี ได้ทำการทดลองเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณชื่อ FDS สำหรับการจำลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ โดเมนในการคำนวณมีขนาดกว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร และสูง 16 เมตร กองเพลิงขนาด 1 ตารางเมตร ได้ถูกวางไว้ที่กึ่งกลางของพื้นด้านล่างของโดเมนการคำนวณ ขนาดกริดในเทอมของตัวแปรไร้มิติ R^* ในช่วงตั้งแต่ 0.052 ถึง 0.259 และอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของกองเพลิงขนาด 500 kW ถึง 1500 kW ถูกใช้คำนวณ จากรูปที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิของลำควันจากการคำนวณในช่วงพลุมน ($z / \dot{Q}^{2/5} > 0.2$) ด้วยสมการของ McCaffrey และ Heskestad (สมการที่ 4-12 ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของลำควันจากการจำลองด้วย FDS กับพารามิเตอร์ $z / \dot{Q}^{2/5}$ จากกราฟพบว่าอุณหภูมิของลำควันที่คำนวณจากสมการของ Heskestad ประมาณอุณหภูมิของลำควันต่ำกว่าอุณหภูมิที่คำนวณจากสมการของ McCaffrey ดังนั้นเราอาจใช้ค่าอุณหภูมิของลำควันของสมการ Heskestad เป็นขอบเขตล่างและค่าอุณหภูมิของลำควันของสมการ McCaffrey เป็นขอบเขตบนในการเปรียบเทียบอุณหภูมิของลำควันซึ่งคำนวณจาก FDS กับอุณหภูมิซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 2.4 กราฟ ΔT_0 กับ $z / \dot{Q}^{2/5}$

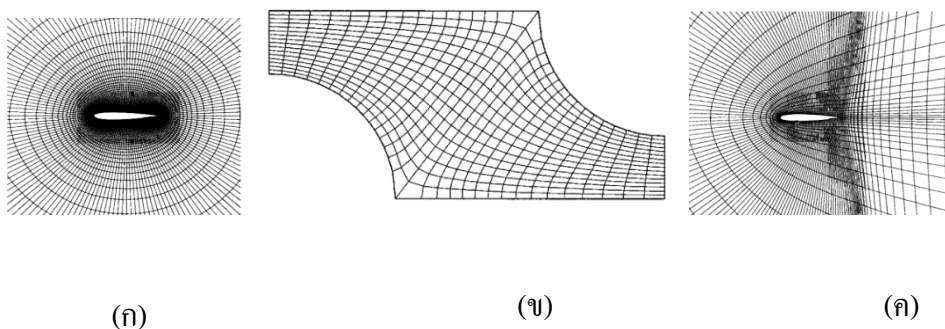
ณัฐศักดิ์ ได้ให้ความเห็นว่าขนาดกริด R^* เท่ากับ 0.05 เป็นขนาดที่ละเอียดมากเกินไปในการศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของลำคลื่นในอาคารที่มีโดเมนขนาดใหญ่ เพราะทำให้เสียเวลามากเกินไปในการคำนวณ ดังนั้นในงานวิจัยการหาขนาดกริดที่เหมาะสมสำหรับการจำลองเพลิงไหม้ในอาคาร ที่จำลองการเผาไหม้ที่กำหนดอัตราการปลดปล่อยความร้อนของกองเพลิงขนาดตั้งแต่ 500 kW ถึง 2000 kW จึงเลือกใช้ขนาดกริดในเทอมของตัวแปรไร้มิติตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.329 เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิและความเร็วของลำคลื่นเปรียบเทียบกับสมการที่ได้จากการทดลอง พบว่า กริดขนาด R^* เท่ากับ 0.164 ถึง 0.217 สามารถใช้ในการคำนวณได้อย่างเหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงใช้กริดที่ R^* เท่ากับ 0.213

2.5 กริด (Mesh)

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณทางด้านวิศวกรรม (Computational Aides Engineering) มีแนวคิดพื้นฐานมาจากการแบ่งโดเมนปัญหา หรือปริมาตรการคำนวณ (Geometry) ออกเป็นอิเลเมนต์ย่อยๆ ซึ่งในระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์และไฟไนต์โวลุ่ม มักมีการคูณด้วยฟังก์ชันรูปแบบหรือ Shape Function ก่อนการอินทิเกรตรอบโดเมน เพื่อประมาณค่าอนุพันธ์ย่อยนั้น จากค่าเริ่มต้น (Initial Condition, IC) และค่าขอบ (Boundary Condition, BC) ที่กำหนดให้แก่ระบบ ซึ่งมักเป็นค่าที่ทราบจากการวัด ทุกปริมาตรวัตถุที่อยู่ภายในปริมาตรของปัญหา จะถูกเปลี่ยนเป็นส่วนย่อยเล็กๆ ที่เรียกว่า กริด หรือ Mesh ซึ่งก็คือเส้นที่ลากตัดกันไปมาด้วย Shape Function ที่กำหนด เช่น รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปหกเหลี่ยม เป็นต้น ลักษณะของกริดที่สร้างจะมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลเฉลยที่จะได้รับการประมาณค่าอนุพันธ์ย่อย โดยหลักการแล้ว กริดที่มีความละเอียดจะสามารถให้ผลเฉลยที่มีความถูกต้องมากกว่ากริดที่หยาบ เพราะความสมบูรณ์ในการแนบเส้นกริดเข้ากับรูปร่างของโดเมนปัญหาคือปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่จะทำให้การกำหนดค่าเริ่มต้น และค่าขอบที่มีความสมจริงมากขึ้น ลักษณะของกริดแบ่งได้ 2 แบบ คือกริดมีโครงสร้าง (Structured Mesh) และกริดไร้โครงสร้าง (Unstructured Mesh)

2.5.1 กริดมีโครงสร้าง (Structured Mesh หรือ Mapping Mesh)

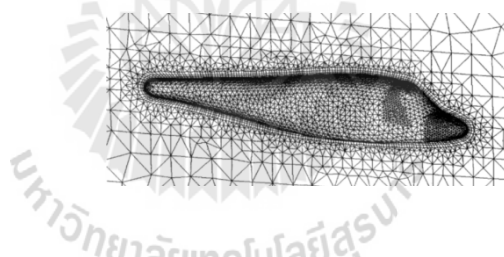
เกิดจากเส้นอย่างน้อย 2 กลุ่มมาตัดกัน ในกรณี 2 มิติ การตัดกันดังกล่าวก่อให้เกิดเซลล์รูป 4 เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กริดในลักษณะนี้ให้ความเสถียรในการคำนวณค่อนข้างสูง แต่มักประสบปัญหากับการประยุกต์ใช้กับรูปทรงที่ซับซ้อน



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกริดที่มีโครงสร้าง (ก) แบบ O-Type (ข) แบบ H-Type
(ง) แบบ C-Type (Ferziger and Peric, 2002)

2.5.1 กริดไร้โครงสร้าง (Unstructured Mesh)

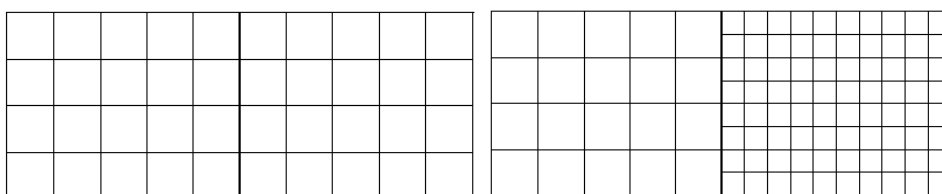
มีลักษณะที่กริดมีความยืดหยุ่นสูง สามารถแนบเข้าได้กับทุกรูปร่างโดเมนประยุกต์ใช้ได้กับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลุ่ม นิยมใช้ในงานวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหล (CFD)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกริดไร้โครงสร้าง (Ferziger and Peric, 2002)

ระบบการจัดวางกริด (Grid Alignment)

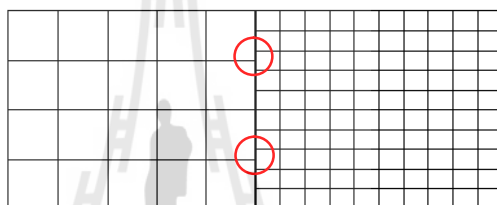
สิ่งสำคัญนอกจากการเลือกใช้กริด (Tetrahedron, Hexahedron, Pyramid, Prism) ที่เหมาะสมกับรูปร่างของโดเมนปัญหาแล้ว การจัดวางกริดถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการกำหนดความถูกต้องในการจัดการข้อมูลเริ่มต้นให้กับการประมวลผลการจำลองซึ่งการจัดวางกริดที่เหมาะสมควรให้ Node หรือ จุดเชื่อมต่อของแต่ละกริดมีความต่อเนื่องกันกับกริดถัดไป ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.7 แต่หากกริดมีความไม่เชื่อมต่อกันระหว่าง Node ถึงแม้เป็นแค่เพียงบางส่วนในโดเมนปัญหาก็ตาม ก็จะส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องในการจัดการข้อมูลกริดให้กับการประมวลผลในการประมาณค่าอนุพันธ์ย่อยของเซลล์นั้นๆ ซึ่งจะได้ผลการประมวลที่ผิดพลาดต่อเนื่องไปยังเซลล์อื่นๆ ใกล้เคียงต่อไป ตัวอย่างของการวางกริดที่ไม่เหมาะสมแสดงในวงกลมสีแดงในรูปที่ 2.8



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการจัดวางกริดที่เหมาะสม



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการจัดวางกริดที่ไม่เหมาะสม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 รายงานวิจัยโครงการมาตรฐานด้านความปลอดภัยของรถในระบบรถโดยสารประจำทาง

จากกรณีเกิดอุบัติเหตุรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อพุ่งชนรถโดยสารประจำทางปรับอากาศ 2 ชั้น เส้นทางกรุงเทพฯ-ร้อยเอ็ดของบริษัท ขนส่ง จำกัด บริเวณเกิดเหตุ อ.แก่งคอย จ.สระบุรี จนเกิดไฟไหม้ลุกลามรถโดยสารทั้งคัน ทำให้มีผู้โดยสารเสียชีวิตทั้งหมด 19 ราย และบาดเจ็บอีก 22 ราย นายสุเมธ องกิตติกุลนักวิชาการอาวุโสฝ่ายการวิจัยทรัพยากรมนุษย์และพัฒนาสังคม สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) ผู้วิจัยโครงการอุบัติเหตุรถโดยสารสาธารณะ เปิดเผย ว่า รถโดยสารสาธารณะของประเทศไทย ถือว่าค่อนข้างมีมาตรฐานดีตรงตามที่กรมการขนส่งทางบกที่กำหนดในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะรถของ บขส.แต่มาตรฐานของกรมการขนส่งทางบกที่กำหนดไว้นั้น มีอยู่หลายประการที่ยังไม่ตรงมาตรฐานสากล หรือระดับนานาชาติ ทั้งนี้มาตรฐานระดับนานาชาติจะกำหนดแบบแยกส่วน ซึ่งมาตรฐานของบางชิ้นส่วนก็จะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางวิศวกรรมกับเครื่องยนต์กลไก หรือแสงสว่าง แม้ไทยก็เข้าร่วมในมาตรฐานนี้แต่เนื่องจากยังมีข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจและสังคม จึงอนุโลมให้สามารถเลือกมาตรฐานขั้นต่ำหนึ่งมาบังคับใช้ได้

ขณะที่กรมขนส่งทางบก โดยนายวัฒนา พัชรชนม์ รองอธิบดีกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคมกล่าวว่าตามประกาศกรมขนส่งทางบกได้กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของรถโดยสารสาธารณะและรถบรรทุก ไว้อย่างชัดเจน ว่ารถโดยสารสาธารณะและรถบรรทุกทุกคันจะต้องมีอุปกรณ์ส่วนควบ เช่น ค้อนทุบกระจก เข็มขัดนิรภัย เบาะนั่ง ที่ปิดน้ำฝน ไฟหน้า ไฟเลี้ยว เป็นต้น อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน ครบถ้วนตามกฎหมายกระทรวงคมนาคม ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ถือเป็นอุปกรณ์พื้นฐาน และมีความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัย การทบทวนมาตรฐานความปลอดภัยหลังเกิดอุบัติเหตุที่ อ.แก่งคอย กระทรวงคมนาคม ได้สั่งการให้กรมขนส่งทางบก กลับมาทบทวนมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัยหลายข้อ เช่น การควบคุมความเร็ว ควบคุมระยะทางและเวลาในการขับรถ วัสดุที่นำมาประกอบรถต้องได้มาตรฐาน เป็นวัสดุไวไฟหรือทำให้เกิดควันพิษหรือไม่ แต่ทุกครั้งที่เกิดเหตุแม้จะมีเจ้าหน้าที่ตำรวจจากกองพิสูจน์หลักฐานลงไปตรวจสอบการเกิดเหตุแต่ที่ผ่านมาก็ไม่เคยเห็นว่าจะมีการนำผลการสืบสวนที่ได้ไปวิเคราะห์ปรับปรุงเสนอแก้ไขสาเหตุอย่างเป็นรูปธรรม เห็นว่าจริงๆ แล้วเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นจำเป็นต้องมีการจัดทีมภาคสนามลงไปตรวจสอบหาสาเหตุเชิงลึก เพื่อให้ทราบถึงเหตุปัจจัยทั้งคน รถ และถนน จากนั้นก็นำผลตรวจที่ได้มาปรับแก้สาเหตุเชิงระบบ ผู้จัดการศูนย์วิชาการเพื่อความปลอดภัยทางถนนกล่าว (ณรงค์ ป้อมหลักทอง และคณะ, 2555)

2.6.2 การศึกษาการเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสารในต่างประเทศ

Tan Jia-lei และคณะ (2010) มหาวิทยาลัยสังคมและเทคโนโลยีปักกิ่ง (University of Science and Technology Beijing) กล่าวว่าเมืองหลวงของจีน มีรถโดยสารสะสมมากถึง 344,489 คันเมื่อปี 2007 และมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นอยู่เสมอ เริ่มมีการศึกษาการเกิดเพลิงไหม้อย่างจริงจังครั้งแรกโดยสถาบันป้องกันไฟ จากมหาวิทยาลัย Karlsruhe ในปี 1985 โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เพื่อวัดอัตราการปลดปล่อยความร้อน HRR (Heat Release Rate) อัตราการถ่ายเทมวลของคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ อัตราการเกิดควัน และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในรถ

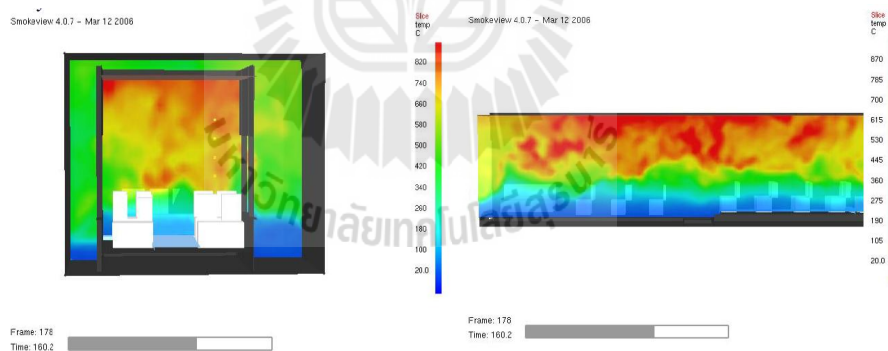
จากข้อมูลอ้างอิงของมาตรฐานวัสดุติดไฟ ที่ตกแต่งภายในห้องโดยสารของประเทศจีน แบ่งวัสดุออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- 1) วัสดุไม่ติดไฟ
- 2) วัสดุที่ติดไฟได้ แต่มีอัตราการเผาไหม้ต่ำกว่า 100 มิลลิเมตร/นาที
- 3) วัสดุที่ติดไฟได้ แต่มีอัตราการเผาไหม้ต่ำกว่า 50 มิลลิเมตร/นาที

วัสดุประเภทที่ 2 แม้จะเป็นวัสดุที่มีการติดไฟ อย่างไรก็ตามแต่ ในการตกแต่งภายในห้องโดยสารก็นิยมใช้วัสดุประเภทนี้ ซึ่งจะกลายเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดก๊าซพิษได้ (ทั้งนี้อาจเพราะ

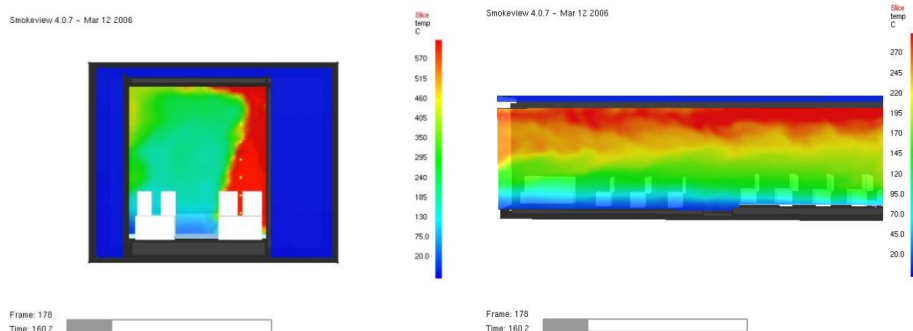
มีราคาถูก ช่วยลดต้นทุนการผลิตโดยสารได้ มีความสวยงาม ง่ายในการติดตั้งให้เข้ากับรูปทรงของรถได้อย่างสวยงาม) เช่นพลาสติกและวัสดุโฟม ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ห่อหุ้มเบาะ และทำเบาะที่นั่ง วัสดุตกแต่งเพดานห้องโดยสาร วัสดุปูพื้น และวัสดุโฟมภายในฝ้าเพดาน ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่เพิ่มอัตราการเกิดเพลิงไหม้ทั้งสิ้น Tan Jia-lei ได้ทำการคำนวณหาค่าการปลดปล่อยพลังงานจากวัสดุตกแต่งภายในห้องโดยสารที่จะมีการลุกลามจนเกิดการเผาไหม้ได้ และได้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ทั้งหมด 20,987 MJ และใช้กรรมวิธีทางตัวเลขจำลองพฤติกรรมของการลุกลามของเพลิงไหม้ โดยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) จำลองเพลิงไหม้รถโดยสาร ขนาด 11.73 เมตร x 2.5 เมตร x 3 เมตรที่นั่งผู้โดยสารทั้งสิ้น 38 ที่นั่งรวมคนขับรถ โดยใช้ก๊าซโซลีนเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ซึ่งมีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ 43.7 MJ/Kg โดยใช้กริด 200x50x40 จำลองการเกิดเพลิงไหม้ 3 กรณีคือ

1) กรณีมีวัสดุตกแต่งภายในเช่น ฝ้าเพดาน โฟมภายในฝ้าเพดาน ซึ่งจะเกิดการติดไฟได้ง่าย ประตูและหน้าต่างห้องโดยสารมีการเปิด ทำให้มีออกซิเจนเข้ามาเติมในห้องโดยสาร และเกิดการเผาไหม้ที่ดียิ่งขึ้น ผลการจำลองได้ค่าอุณหภูมิสูงถึง 870 องศาเซลเซียส ที่ระนาบ 1.25 เมตร บริเวณทางเดินกึ่งกลางตามยาวรถโดยสาร และมีอุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส ที่ความสูง 1.0 เมตร ในระนาบเดียวกัน กรณีนี้ผู้โดยสารจะเสียชีวิตด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินขีดจำกัดของร่างกาย



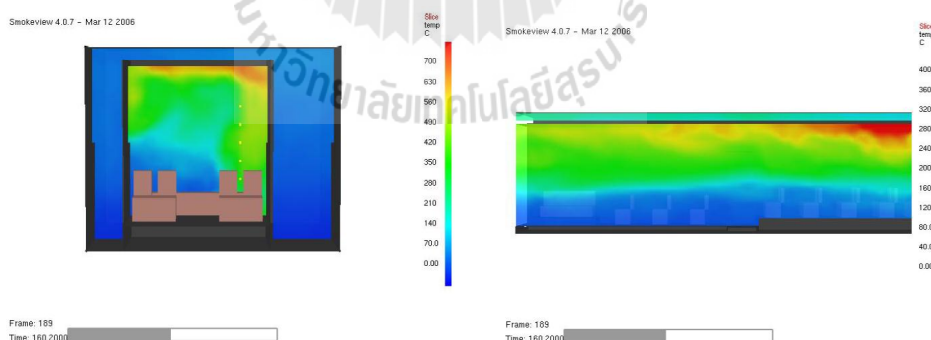
รูปที่ 2.9 ผลการทำนายอุณหภูมิของเพลิงไหม้ กรณีในห้องโดยสารมีวัสดุตกแต่ง และประตูรถโดยสารเปิด

2) กรณีประตูและหน้าต่างปิดสนิท และไม่มีวัสดุติดไฟในห้องโดยสาร ผลการจำลองนี้มีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงสุด 570 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 160 วินาที ไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการลุกลามของเพลิงไหม้ อุณหภูมิจะลดลงเหลือเพียง 270 องศาเซลเซียสที่ระนาบ 1.25 เมตร และมีอุณหภูมิ 150 องศา ที่ระดับ 1.0 เมตร ในระนาบเดียวกัน แต่จะมีกลุ่มควันจะสะสมสูงถึง 0.5 เมตร กรณีนี้ผู้โดยสารจะเสียชีวิตจากการสูดดมควันพิษ



รูปที่ 2.10 ผลการทำนายอุณหภูมิของเพลิงไหม้ กรณีในห้องโดยสารไม่มีวัสดุตกแต่ง และประตูรถโดยสารปิดสนิท

3) กรณีไม่มีวัสดุติดไฟบนเพดาน ไฟจะเกิดการลุกลามเพียงบริเวณพื้นห้องโดยสาร ประตูและหน้าต่างปิดสนิท ผลการจำลองได้อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาผ่านไป 160 วินาที จะมีออกซิเจนลดลงไม่เพียงพอต่อการลุกลามของเพลิงไหม้ จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือเพียง 400 องศาเซลเซียส ที่ระนาบ 1.25 เมตร และมีอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสที่ระดับ 1.0 เมตร ในระนาบเดียวกัน และมีควันสะสมสูง 1.0 เมตร ผู้โดยสารจะเสียชีวิตด้วยอาการที่รับควันพิษ หรืออาจเพราะอุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัดของร่างกาย



รูปที่ 2.11 ผลการทำนายอุณหภูมิของเพลิงไหม้ กรณีในห้องโดยสารไม่มีวัสดุตกแต่งบนฝ้าเพดาน และประตูรถโดยสารปิดสนิท

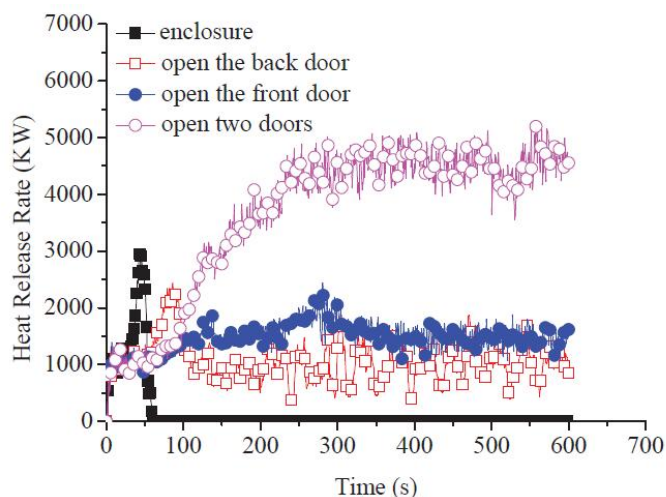
ทั้งนี้เมื่อทำการทดลองโดยการติดระบบสเปรย์น้ำเข้าไปพบว่า ที่ระดับ 1.0 เมตร จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือเพียง 40 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังทำให้ความเข้มข้นของก๊าซพิษที่สะสมในอากาศภายในห้องโดยสารลดลงอีกด้วย

Xiaonan Zhang และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสาร โดยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) โดยใช้ระเบียบวิธี Explicit Predictor Corrector ความแม่นยำแบบ Second Order Accuracy และใช้รูปแบบการปั่นป่วนแบบ LES (Large Eddy Simulation) จำลองเพลิงไหม้รถโดยสารขนาด 9 เมตร x 2.5 เมตร x 2.2 เมตร

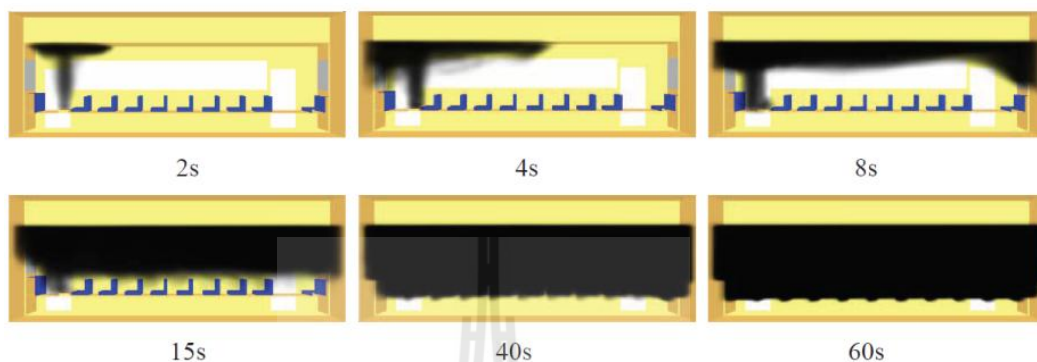
ต้นเพลิงถูกตั้งสมมติฐานให้เกิดจากเครื่องยนต์ด้านหน้าและพื้นที่วางสัมภาระ ส่วนกลางของรถโดยสาร โดยเปลี่ยนแปลงสภาวะการเผาไหม้ แบบประตูห้องโดยสารปิดสนิท แบบประตูห้องโดยสารด้านหน้าเปิด และแบบประตูห้องโดยสารเปิดทั้งด้านหน้าและด้านหลัง จากผลการทำนายพบว่า อัตราการปลดปล่อยพลังงาน (Heat Release Rate) มีความสัมพันธ์กับการถ่ายเทอากาศ ในช่วงแรกของการเผาไหม้ ขณะที่อากาศเพียงพอในการเผาไหม้จะเกิดอัตราการเผาไหม้ที่สูง เมื่อเป็นสภาวะห้องปิดและเวลาการเผาไหม้ผ่านไป จะมีออกซิเจนที่ช่วยในการเผาไหม้ต่ำลง HRR จะมีค่าที่เพิ่มสูงหรือลดต่ำ ขึ้นกับอัตราการถ่ายเทอากาศเข้ามาในห้องโดยสาร เช่นสภาวะการเผาไหม้ที่ประตูห้องโดยสารเปิดทั้งสองบาน จะมี HRR เป็น 3-5 เท่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ที่เปิดประตูห้องโดยสารเพียง 1 บาน

การเผาไหม้ที่มีต้นเพลิงจากพื้นที่เก็บสัมภาระ ในกรณีที่มีการปิดประตูห้องโดยสารทั้งสองด้านไม่มีการนำอากาศใหม่เข้ามาเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ที่จะมีอุณหภูมิเกิดขึ้นภายในห้องโดยสาร 415 องศาเซลเซียส

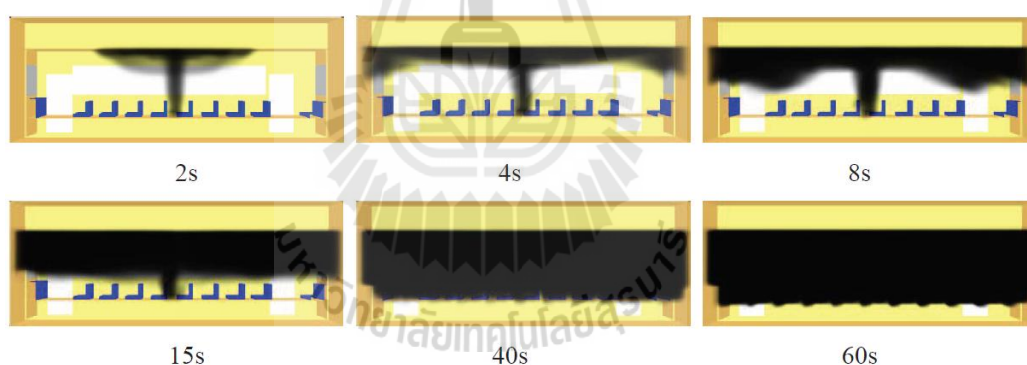
กรณีที่มีการเปิดประตูห้องโดยสารด้านหน้า แต่ปิดประตูด้านหลัง จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นถึง 570 องศาเซลเซียส และในกรณีที่มีการเปิดประตูห้องโดยสารทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพื่อเปิดรับอากาศใหม่เข้ามา จะทำให้อุณหภูมิในห้องโดยสารสูงขึ้นมากถึง 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของการเผาไหม้จริงที่ 1026 องศาเซลเซียส (ค่าเฉพาะของเชื้อเพลิง gasoline)



รูปที่ 2.12 ผลการทำนายอัตราการปลดปล่อยความร้อน (HRR) ภายใต้การถ่ายเทอากาศที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.13 ผลการกระจายควันไฟเมื่อต้นเพลิงเกิดที่ตำแหน่งเครื่องยนต์ด้านหน้ารถ



รูปที่ 2.14 ผลการกระจายควันไฟเมื่อต้นเพลิงเกิดที่ตำแหน่งพื้นที่เก็บสัมภาระ

วัสดุตกแต่งภายในมักถูกผลิตด้วยวัสดุที่มีพอลิเมอร์ผสมอยู่ในอัตราส่วนที่สูง เช่น พลาสติก ไฟเบอร์ และยาง ซึ่งวัสดุเหล่านี้ เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนหลักที่สามารถติดไฟและไหม้ได้ อีกทั้งจะส่งผลต่อ HRR และความเร็วของการแพร่กระจายไฟอีกด้วย

ผลการทำนายพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ เมื่อการเผาไหม้เกิดในห้องโดยสารปิด จะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงาน หรือ HRR ออกมาอย่างมากในช่วงแรกของการเผาไหม้ เมื่อออกซิเจนถูกใช้ไปในการเผาไหม้ช่วงแรกจะมีปริมาณที่ลดน้อยลง HRR จะมีค่าที่ต่ำลง 3-5 เท่าของกรณีเผาไหม้ที่ห้องโดยสารเปิดประตูทั้งสองด้านเมื่อการเผาไหม้เกิดในห้องโดยสารปิด ควันจะกระจายขึ้นสู่เพดานห้องโดยสาร กรณีที่เพลิงเกิดขึ้นที่เครื่องยนต์ด้านหน้าหรือด้านหลัง ผู้โดยสารที่

อยู่ตรงกลางของรถโดยสารจะมีความปลอดภัยจากควันพิษมากที่สุด แต่เมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นที่ตรงกลางของห้องโดยสาร ผู้โดยสารที่ยืนตรงกลางของรถส่วนหน้า หรือกลางของรถส่วนหลังจะปลอดภัยที่สุด ห้องโดยสารจะมีควันพิษเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่อเกิดการเผาไหม้แบบห้องปิด แต่จะมีอัตราการเผาไหม้ที่น้อยกว่าการเผาไหม้แบบห้องเปิด ทั้งนี้ได้มีการเสนอแนะแนวทางการลดความเสี่ยงอันเกิดจากเพลิงไหม้โดยการใช้เทคโนโลยีสเปรย์น้ำ และอื่นๆคือการเปลี่ยนวัสดุในการตกแต่งห้องโดยสารให้เป็นวัสดุทนไฟหรือมีการลุดคิดไฟยาก

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD Fire Modeling) ในการประเมินสถานะภายในห้องขณะเกิดเพลิงไหม้เพื่อใช้ในการออกแบบระบบห้องกันอัคคีภัยและระบบควบคุมควันไฟให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้น และงานวิจัยการเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสาร จะพบเห็นได้ในงานวิจัยต่างประเทศ โดยมักใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ หรือ CFD (Computational Fluid Dynamics) ซึ่งเป็นสมการที่มีพื้นฐานมาจากสมการนาเวียร์-สโตกส์ ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือต้นเพลิงต่างชนิดกัน โดยโปรแกรมสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัยที่นิยมใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ คือ Fluent, SOFIE, CFX, PHOENICS, STAR C-D และ FDS (Fire Dynamics Simulator) งานวิจัยภายในประเทศ ก็มีการนำเอาโปรแกรม FDS นี้มาใช้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้อย่างหลากหลาย เช่น การจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และการอพยพหนีศึกษาโรงเรียนอนุบาล การจำลองรูปแบบการเกิดอัคคีภัยโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัยของคลังเก็บสินค้า การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยสำหรับศูนย์กระจายสินค้าขนาดใหญ่ และงานวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ ที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่อย่างแพร่หลาย แต่จากการค้นคว้ายังไม่พบการใช้แอปพลิเคชันเหล่านี้ กับการเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสารในประเทศไทยดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้นำเอาเทคนิคทางด้าน CFD เข้ามาใช้ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อทำนายสถานการณ์และพฤติกรรมจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัย โดยเลือกใช้โปรแกรม FDS Version 6 ร่วมกับ Smoke View มาใช้ในการทำนาย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศรุ่นชั้นครึ่ง (Inter City Bus) โดยนำเอาเทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหล (CFD) เข้ามาใช้ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อทำนายสถานการณ์และพฤติกรรมจำลองด้านพลศาสตร์อัคคีภัย โดยเลือกใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) Version 6.0 ร่วมกับ Smoke View 6.1.12 เพื่อศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ จุดประสงค์เพื่อหาทางออกแบบห้องโดยสาร ของรถโดยสารปรับอากาศที่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ภาคอุตสาหกรรมประกอบรถโดยสารปรับอากาศ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในอนาคตรและช่วยบรรเทาความรุนแรงในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสารได้

ผลจำลองอันเกิดจากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเพื่อการศึกษาและออกแบบทางโครงสร้าง (Static Structural) จำลองทางไหล (Fluid Dynamics) และการจำลองอื่นๆ มักจะมีความถูกต้องและเชื่อมั่นได้สูง แต่การตีความผลของข้อมูลที่ได้เกิดขึ้นจาก 3 กระบวนการหลักของการจำลองคือ การประมวลผล การประมวลผล และการประเมินผลหลัง เมื่อกระบวนการจำลองและการคำนวณมีความถูกต้องแล้ว มักจะนำมาซึ่งความน่าเชื่อถือของผลการจำลองได้เป็นอย่างดี ในการออกแบบทางวิศวกรรม มักจะยืนยันความถูกต้องของผลการจำลองให้มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผล ซึ่งอาจทำได้ทั้งในกรณีทดลองในอัตราส่วนจริงหรือ อัตราส่วนจำลอง แต่ในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองโดยตรงได้ จะนิยมเปรียบเทียบผลกับการทดสอบที่มีลักษณะหรือเงื่อนไขใกล้เคียงกัน ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีจำลองผล ซึ่งในกรณีนี้ ความน่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับความใกล้เคียงของงานที่นำมาเปรียบเทียบ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล ที่นำมาเปรียบเทียบ ยิ่งขึ้นกับความน่าเชื่อถือของข้อมูล และผู้ทำการจำลองผลอีกด้วย

3.1 กรณีสอบเทียบ

3.1.1 การศึกษาข้อมูลกรณีสอบเทียบ

3.1.1.1 Forced Ventilation Enclosure Fire,

N.J. Alvarez and K.L. Floote, Lawrence Livermore National Laboratory (1984) ได้ทำการทดลองการเผาไหม้ชนิดการระบายอากาศแบบบังคับ (Forced Ventilation Fire) จำนวน 27 การทดลองที่ Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) ที่อัตราการระบายอากาศ ชนิดของเชื้อเพลิง และอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่หลากหลาย กองเพลิงถูกวางตำแหน่งบริเวณกลางของพื้นที่ทดลองและมีการลุกไหม้แบบธรรมชาติ (Natural Burning Pool Fire) ในกระทะเชื้อเพลิงที่เรียกว่า Analog Pool Fire ที่ซึ่งมีการติดตั้งมิเตอร์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงอยู่ด้วยเพื่อที่จะควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเพลิงกับอัตราการระบายอากาศ

ข้อมูล การทดลองของ Alvarez และคณะ (1984)

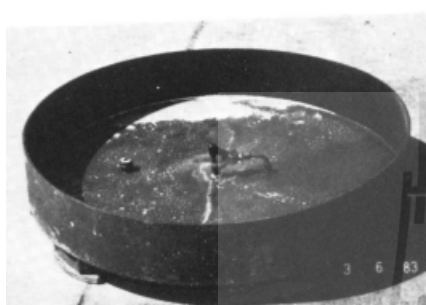
- 1) ห้องทดลองเพลิงไหม้ขนาดความสูง 4.5 เมตร ขนาดความกว้าง 4.0 เมตร และขนาดความยาว 6 เมตร
- 2) ช่องเปิดออกขนาด 0.65 เมตร x 0.65 เมตร ที่ตำแหน่งกลางผนัง (ผนัง 4.0 เมตร x 4.5 เมตร) ความสูง จากระดับพื้น 1.6 เมตร เทียบจากระดับกึ่งกลางของทางเปิดออก
- 3) ช่องเปิดเข้ามีขนาดความยาว 0.5 เมตร กว้าง 0.12 เมตร และความสูง จากระดับพื้น 1.1 เมตร
- 4) การคำนวณการแผ่รังสี กำหนดเป็นแบบ Completely Black
- 5) ผนัง และฝ้าเพดานห้องหนา 10 เซนติเมตร มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1
- 6) Pool fire มีลักษณะเป็นจานกระทะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.91 เมตร ความสูง ขอบกระทะ 1.5 เซนติเมตร กระจายเชื้อเพลิงแบบหัวสเปรย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองของ Alvarez และคณะ (1984)

ข้อมูล การทดลองของ LLNL จำนวน 3 การทดลองจากทั้งหมด 27 การทดลอง คือ MOD08, MOD09, MOD27B ถูกนำมาทำการทดลองด้วยเงื่อนไขที่เหมือนกันเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้กับและสถาบันต่างๆ ได้แก่ Harvard (Mitler and Emmons, 1981, Mitler, 1982), LANL (Krause, 1982), LLNL (Creighton, 1982), Cal Tech II (Zukoski, 1980), PNL (Orzawski, 1982) และ Cal Tech I (Zukoski, 1982) ซึ่งสนใจและมีความเห็นเกี่ยวกับการทำนายพฤติกรรมของไฟ โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ 8 อย่างจากผลการทดลอง และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ข้อมูล ลของวัสดุในการทดลองของ Alvarez และคณะ (1984)

Properties	Wall	Ceiling
ρ (kg/m ³)	1440	1920
k (w/m °K)	0.39	0.63
C_p (J/kg °K)	1000	1000



(ก)

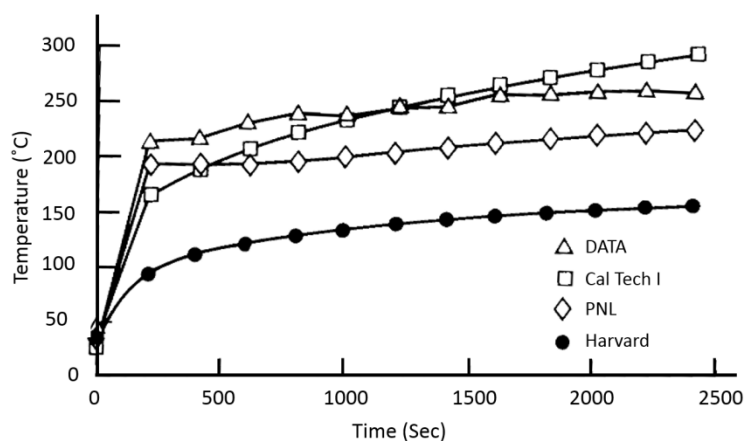


(ข)

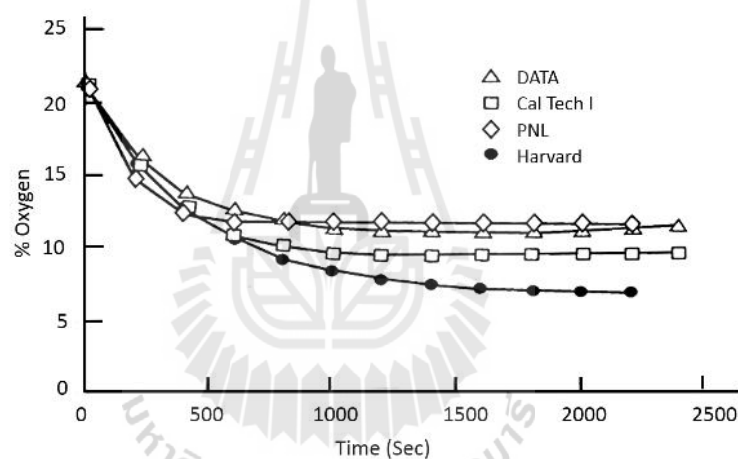
รูปที่ 3.1 (ก) กระทะเชื้อเพลิงแบบลุกไหม้ธรรมชาติ (Natural Burning Pool Fire)
(ข) หัวจ่ายเชื้อเพลิงแบบสเปรย์

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบข้อมูล ลของค์กรและสถาบันที่ทำการทดลองการตรวจสอบความถี่ของการทดลอง Alvarez และคณะ (1984)

Units	Data	Harvard	Cal Tech I	PNL	LANL	Cal Tech II	LLNL
Time (s)	2,200	2,200	2,200	2,200	1,800	800	300
Upper Layer temp. (°C)	252	158	287	222	282	287	287
Fire Strength (kW)	330	341	399	295	391	400	287
Heat Loss to walls (kW)	270	165	329	154	313	320	400
Oxygen Concentration (%)	11.0	6.8	9.4	11.3	9.6	-	320
Lower layer Height (m)	1.22	0.28	-	0.64	0.73	0.15	-
Wall Temperature	180-210	123	206	-	-	-	0.75
Lower Layer temp. (°C)	136	18	287	87	111	18	-
Inlet Spike min (s)	15	2	20	20	20	30	18
Inlet Spike (g/s)	-200	-210	-210	-210	-210	34	-



รูปที่ 3.1.1.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ภายในห้องทดลอง จากการทดลอง MOD 27B



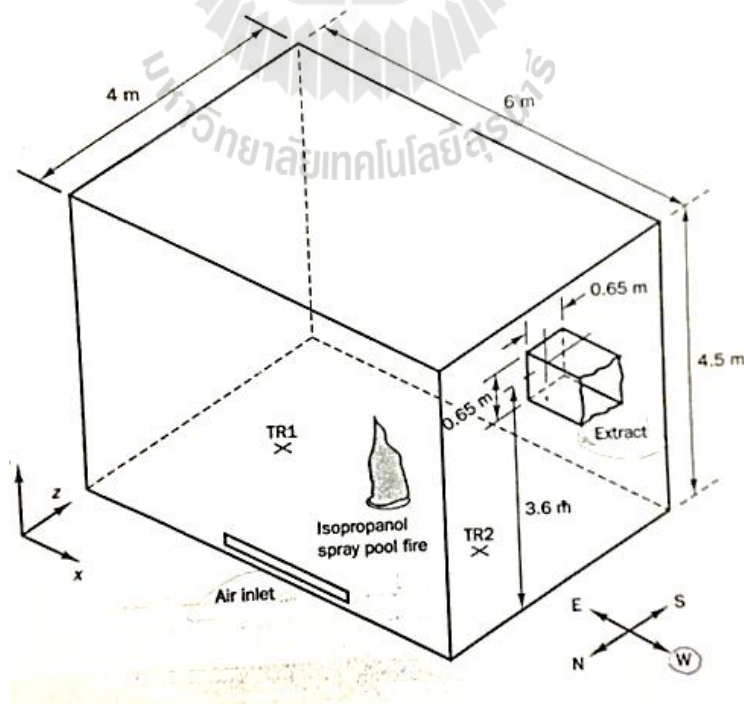
รูปที่ 3.1.1.3 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในห้องทดลอง จากการทดลอง MOD 27B

ดังตัวอย่างการทดลอง MOD27B ที่แสดงในรูปที่ 3.1.1.2 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดการทดลอง Alvarez และคณะ (1984) และคณะได้สรุปผลว่าไม่มีการทดลองชุดใดที่ได้ค่าพารามิเตอร์ 8 ตัวตรงกันสมบูรณ์ ร้อย 100% เต็ม แต่ทั้งหมดทุกการทดลองจาก 6 องค์การและสถาบันมีผลไปในทางที่ดีคือ มีผลที่ต่ำกว่าค่าที่ 'น้อย' 1 ตัว และอาจมีบางตัวที่ไม่สามารถวัดค่าได้

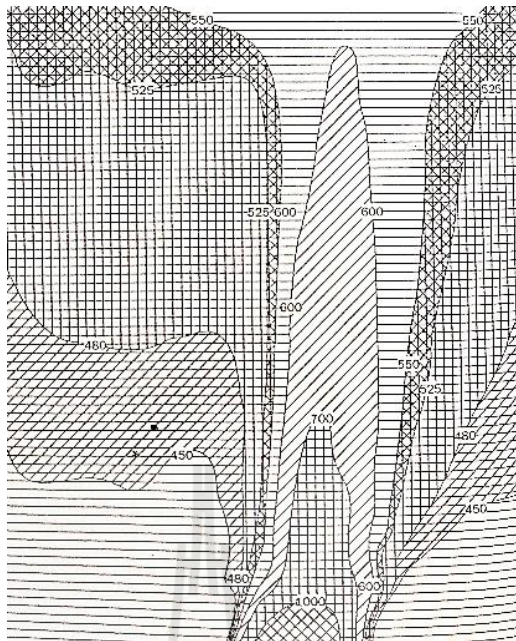
3.1.1.2 Modelling of a fire in a test room,

H.K.Versteeg and W.Malalasekera (2007) ได้ทำการเปรียบเทียบผลคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหลกับผลการเกิดเพลิงไหม้ที่ทำการทดลองโดย Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) โดย Alvarez และคณะ (1984) โดยกองเพลิงถูก 'ทิ้ง' อยู่ในตำแหน่ง

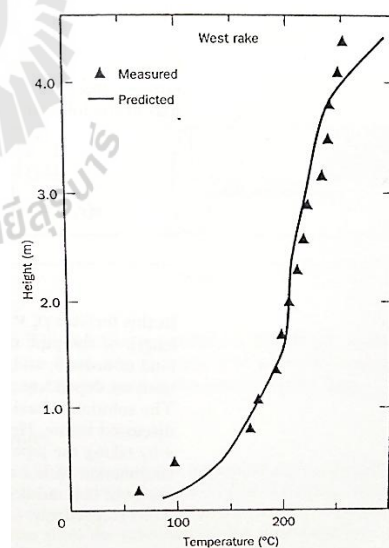
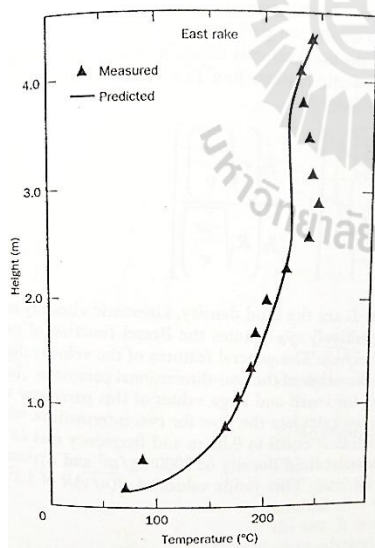
กึ่งกลางห้องทดลอง ปริมาตร 4 เมตร x 6 เมตร x 4.5 เมตร อากาศใหม่ถูก 'ดูดเข้าผ่านช่องรับอากาศ' เข้าขนาด 0.12 เมตร x 2 เมตร ความสูง 0.1 เมตร ผลผลิตอากาศเสียจากการทดลองถูก 'ดูด' ออกโดยพัดลมผ่านช่องอากาศออกขนาด 0.65 เมตร x 0.65 เมตร ความสูง 0.1 เมตร (ดู รูป 3.4) ด้วยอัตราการดูดอากาศออกจากห้องทดลองเท่ากับ 400 ลิตร/วินาที ชุดทดลองที่ H.K. Versteeg and W. Malalasekera นำมาใช้เปรียบเทียบกับ การทดลองที่ D08 จากผลการทดลองทั้งหมด 27 ชุด ที่ถูกตีพิมพ์รายงานภายใน Alvarez และคณะ ในปี 1987 โดยตั้งเงื่อนไขการจำลองกองเพลิงในการทดลองมีลักษณะเป็นเตาเผาที่มีการสเปรย์เชื้อเพลิงที่ตำแหน่งกระแทกเชื้อเพลิงกลางห้อง ซึ่งเชื้อเพลิงที่ทำการทดลองเป็นชนิด Isopropyl Alcohol อัตราการสเปรย์เชื้อเพลิงเท่ากับ 13.1 กรัม/วินาที ด้วยอัตราการปลดปล่อยพลังงาน (HRR) เท่ากับ 400 kW กำหนดให้ผนังห้องหนา 0.1 เมตร คุณสมบัติ Thermal Conductivity, Density และ Specific Heat Capacity มีค่าเท่ากับ 0.39 W/m.K , 1400 kg/m³ และ 1 kJ/kg.K สำหรับผนัง และ 0.63 W/m.K , 1920 kg/m³ และ 1 kJ/kg.K สำหรับฝ้าเพดานและพื้นห้องตามลำดับ ตั้งสมมติฐานให้ผนังห้องมีการดูดกลืนรังสีความร้อนแบบ Fully Black Radiation มีการใช้กระบวนการ CFD บนพื้นฐาน Simple Algorithm การไหลปั่นป่วนแบบ k-epsilon turbulence ติดตั้ง Thermocouple จำนวน 15 ตำแหน่งเพื่อ 'วัด' ข้อมูล อุณหภูมิ ภายในห้องทดลอง ผลการจำลองทาง CFD (ดู รูป 3.5) ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ LLNL (รูป 3.6) พบว่าผลการทดลองและผลการจำลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันและเป็นที่ยอมรับได้ดี



รูป 3.4 ลักษณะห้องจำลองของ Alvarez และคณะ (1984)



รูปที่ ๒.๕ ผลการจำลองการกระจายอุณหภูมิ มีห้องที่ระนาบ $x = 3.00$ เมตร กึ่งกลางห้องจำลอง (H.K.Versteeg และคณะ, 2007)



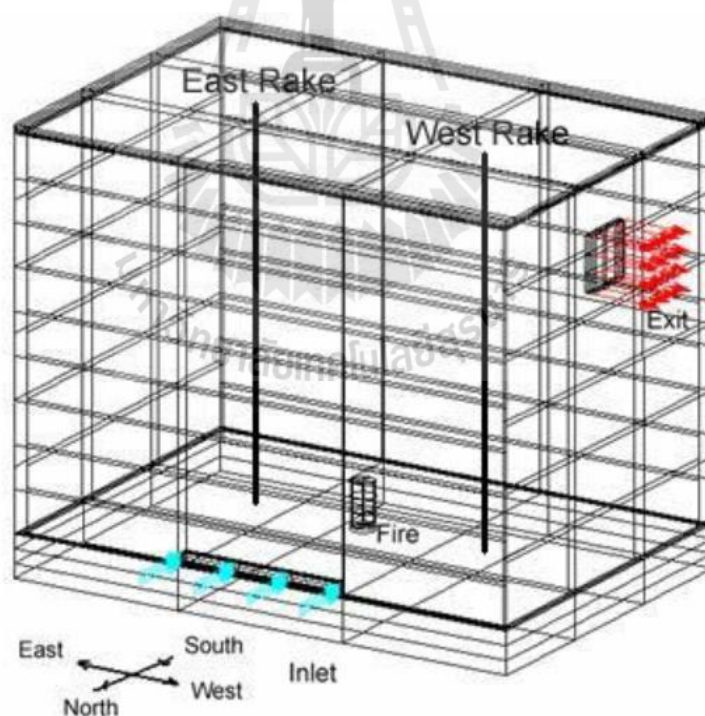
(ก) การเปรียบเทียบบนเส้น East rake

(ข) การเปรียบเทียบบนเส้น West rake

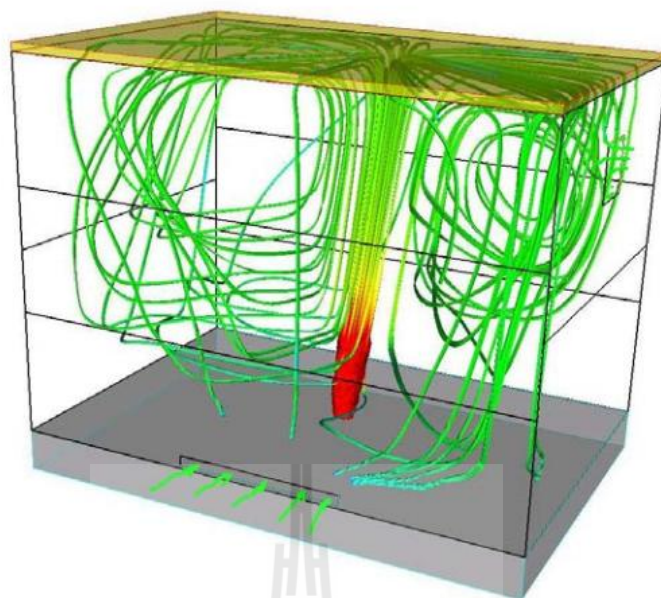
รูปที่ ๒.๖ การเปรียบเทียบอุณหภูมิ มีทดลองของ Warez และอุณหภูมิ มีจำลองของ Versteeg ที่ความสูงต่าง ๆ

3.1.1.3 Comparison of a CFD fire model against a ventilated fire experiment in an enclosure.

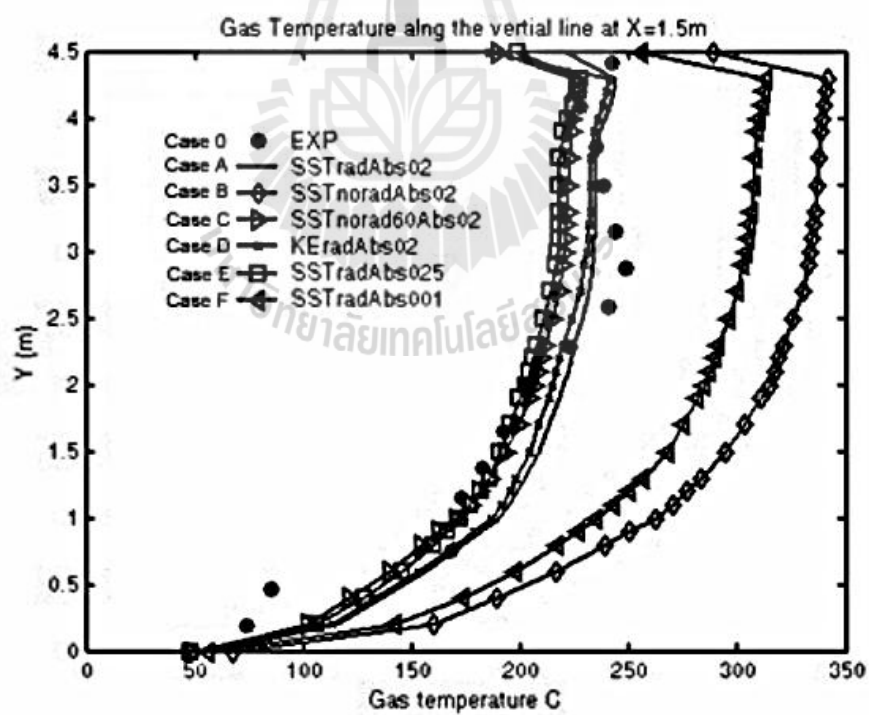
Yunlong Liu, Alfred Moser และ Yehuda Sinai (2004) ได้ศึกษาการและเปรียบเทียบการจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ปิดจำนวน 7 การจำลอง โดยอ้างอิงการทดลอง MOD08 ของ Alvarez และคณะ (1984) โดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Ansys. – CFX โดยระเบียบวิธีคำนวณการไหลปั่นป่วนแบบลอยตัว 2 ชนิดคือ $k-\epsilon$ model และ Shear Stress Transport (SST) model เปรียบเทียบกับการทดลอง Ventilation Enclosure Fire, N.J. Alvarez และคณะ., (1984) กริดที่ใช้ในการจำลอง 200,000 กริด ความละเอียดชั้นชิดผิว 0.002 เมตร มีค่า y^+ 10-20 ที่ซึ่งคำนวณได้จาก $y^+ = \frac{yu_{tau}}{\nu}$ (u_{tau} คือ Shear Stress Velocity, y คือ ระยะห่างจากพื้นผิวถึงจุดกึ่งกลางของกริดชิดผิวชั้นแรก, ν คือ Kinematic Viscosity) การพิจารณาการแผ่รังสีความร้อน ใช้ระเบียบวิธีคำนวณแบบ Discrete Transfer Radiation Model (DT) การคำนวณเชิงตัวเลข ใช้การแก้ค่าตอบเฉลี่ย Root Mean Square (RMS) มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10-6



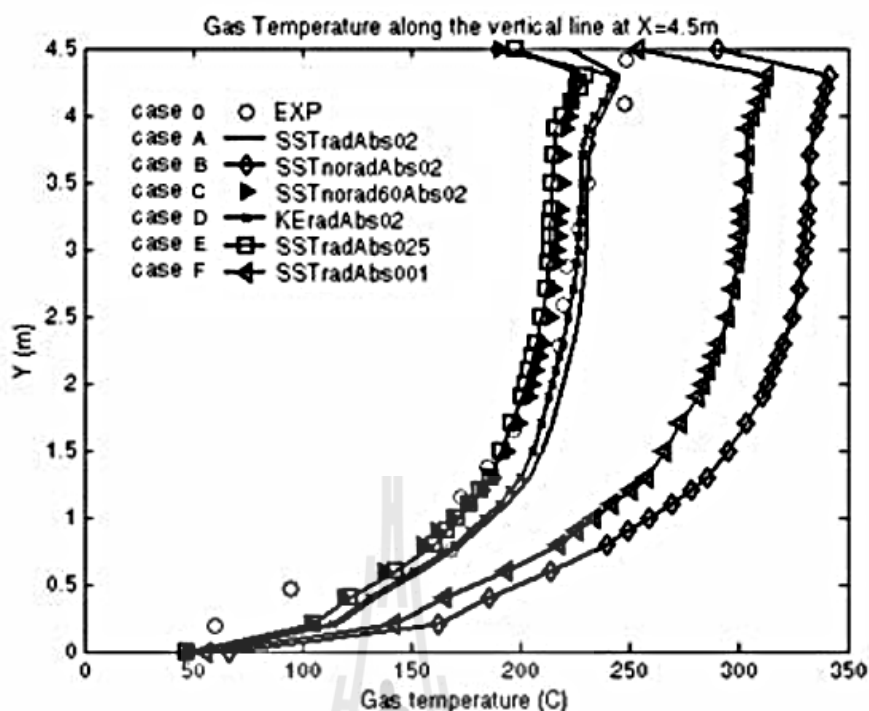
รูปที่ 3.1.1.3 การตั้งเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองของ Yunlong Liu และคณะ (2004)



รูปที่ ๒.๒ ผลการจำลองเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำมันที่เริ่มเคลื่อนที่จากกองไฟ



รูปที่ ๒.๓ การกระจายอุณหภูมิ ภายในห้องทดลอง บนเส้น East Rake ที่วินาทีที่ 20



รูปที่ 10 การกระจายอุณหภูมิ ภายในห้องทดลอง บนเส้น West Rake ที่วินาทีที่ 20

จากผลงานวิจัยข้างต้นที่หยิบยกการจำลอง ที่อ้างอิงการทดลองของ Alvarez และคณะเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษานิวเคลียร์ในสเกลห้องทดลองของ Alvarez และคณะ ถูกตีพิมพ์ในปี 1984 เรียกว่า 'โดยมีงานวิจัย 87 โดยมีการเพิ่มกรณีการทดลองที่หลากหลายขึ้น ทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ในการเป็นแหล่งอ้างอิงเบื้องต้นแก่กรณีศึกษาอื่น ๆ ในและนอกองค์กร LLNL) ทั้งนี้เนื่องจากในทางวิศวกรรม มักมีข้อจำกัดของข้อมูลการออกแบบด้วยการทดลอง ซึ่งอาจทำได้ทั้งในกรณีทดลองในอัตราส่วนจริงหรือ อัตราส่วนย่อ/ขยาย แต่ในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองโดยตรงได้ ก็จะนิยมเปรียบเทียบผลกับการทดลองที่มีลักษณะหรือเงื่อนไขใกล้เคียง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการจำลองผล นอกจากผลงานข้างต้น ยังพบผลงานอื่น ๆ ที่หยิบยกการจำลองของ Alvarez และคณะเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลหรือ เป็นแนวทางในการทำวิจัย เช่น

3.1.1.4 Validation of Numerical Simulations of Compartment Fires with Forces or Natural

Ventilation Using the Fire and Smoke Simulator (FSSIM), CFAST and CFD. Justin Williansion, Craig Beyler and Jason Floyd, USA (2011)

3.1.1.5 CFD Analysis of Fire in a Forced Ventilated Enclosure.

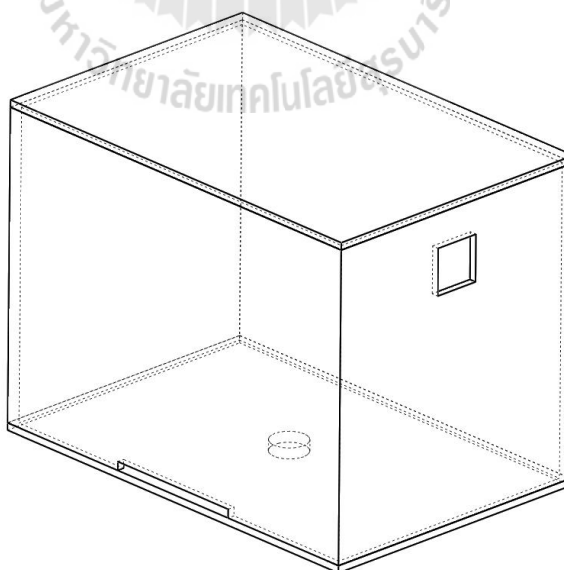
L.M. Tam, V.K. Sin, S.K.Lao and H.F.Choi, China (2006)

3.1.2 การสอบเทียบกรณี Forced Ventilation Enclosure Fire

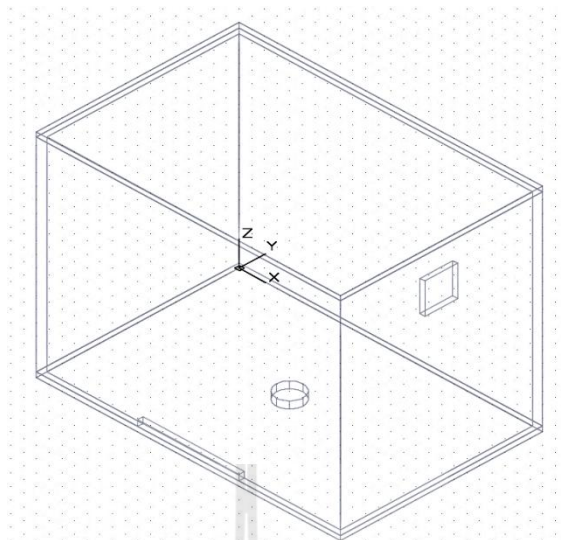
การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศเป็นการทำนายหรือจำลองพฤติกรรมของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในห้องโดยสารซึ่งถือเป็น Enclosure Area หรือ อีทีพีอี (หรือ อีทีอี) เนื่องจากมีขอบเขตของโดเมนปัญหาที่ปิดด้วยผนังหรือ วัตถุแยกกับอากาศภายนอก ซึ่งมีลักษณะหรือเงื่อนไขในการทดลองของ Alvarez และคณะ (1984) ดังนั้น จึงเลือกทำการสอบเทียบผลการทดลองนี้เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย

การประมวลผลก่อน (Pre-processor)

สร้างรูปทรงของโดเมนปัญหาที่จะวิเคราะห์ โดยโปรแกรม Solid Work 2014 ดังที่แสดงในรูปที่ 1 โดยมีสัดส่วนห้องจำลองตามขนาดจริงของ Alvarez และคณะ (1984) ขนาดความสูง 4.5 เมตร ขนาดความกว้าง 4.0 เมตร และขนาดความยาว 6 เมตร, ช่องเปิดออก (Outlet) ขนาด 0.65 เมตร x 0.65 เมตร ที่ตำแหน่งกลางผนัง (ผนัง 4.0 เมตร x 4.5 เมตร) ความสูง 1.6 เมตร เทียบจากระดับกึ่งกลางของทางเปิดออก, ช่องเปิดเข้า (Inlet) มีขนาดความยาว 0.5 เมตร กว้าง 0.12 เมตร และความสูง 1 เมตร, ผนัง และฝ้าเพดานห้องหนา 10 เซนติเมตร มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2, Pool fire มีลักษณะเป็นจานกระทะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 91 เมตร ความสูงขอบกระทะ 15 เซนติเมตร หลังจากได้ไฟล์ข้อมูลรูปทรงของห้องจำลองในนามสกุล Parasolid แล้ว จึงนำเข้าสู่โปรแกรม Autocad 3D เพื่อแปลงนามสกุลไฟล์เป็น dwg (drawing) ซึ่งเป็นไฟล์ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 การแปลงโดเมนปัญหาด้วยโปรแกรม Solid Work 2014



รูปที่ 2 การแปลงโดเมนปัญหาด้วยโปรแกรม Autocad

หลังจากนั้น จึงทำการส่งต่อโดเมนห้องจำลองเข้าสู่กระบวนการสร้างกริดหรือการแบ่งเอลิเมนต์ โดยโปรแกรม Pyrosim ซึ่งจะได้ผลออกมาในลักษณะพิกัด $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ดังต่อไปนี้

&OBST XB=0.0,6.0,-4.0,0.0,0.0,0.1,

&OBST XB=0.0,0.1,-3.9,-0.1,0.1,4.4,

&OBST XB=0.0,6.0,-4.0,-3.9,0.1,4.4,

&OBST XB=0.0,6.0,-0.1,0.0,0.1,4.4,

&OBST XB=5.9,6.0,-3.9,-0.1,0.1,4.4,

&OBST XB=0.0,6.0,-4.0,0.0,4.4,4.5,

ซึ่ง OBST ระบุถึง Obstruction ของโดเมนปัญหาแต่ละชิ้น ซึ่งในที่นี้หมายถึงผนังของห้องจำลองทั้งหมด 6 ฝั่ง

หลังจากนั้นจึงทำการตั้งค่าการจำลอง ซึ่งสามารถเขียน Code โปรแกรมได้ง่ายผ่าน Notepad หรือ โปรแกรม Matlab ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการประมวลผลโดยโปรแกรม FDS ต่อไป

การประมวลผล (Processor)

โปรแกรม FDS เป็นหน่วยรับคำสั่งจากการประมวลผลจาก Code ที่เขียนขึ้นเพื่อ "งัด" การจำลองซึ่งในที่นี้คือ ออกซิเจนใน Notepad เป็น "องศา" เป็นโปรแกรมสามัญในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่สามารถหาใช้ได้ง่าย ใช้หน่วยความจำไม่มาก การประมวลผลทำได้โดยสั่งผ่าน cmd.exe จากนั้น FDS จะทำการประมวลผลตามเงื่อนไข "เงื่อนไข" เงื่อนไขขอบเขต และเวลาในการจำลอง ที่ผู้เขียนระบุไว้ในไฟล์ แสดงในรูปที่ 3


```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe - fds6 couch.fds

C:\Documents and Settings\administrator\Desktop>cd couch
C:\Documents and Settings\administrator\Desktop\Couch>dir
Volume in drive C is WINDOWS 7
Volume Serial Number is 2ABA-FCFE

Directory of C:\Documents and Settings\administrator\Desktop\Couch

05/30/2016  07:35 PM  <DIR>          .
05/30/2016  07:35 PM  <DIR>          ..
05/30/2016  07:32 PM             12      couch.end
01/15/2014  07:46 AM             3,964    couch.fds
05/30/2016  07:38 PM          103,635    couch.out
05/30/2016  07:38 PM           18,708    couch.prt5
05/30/2016  07:38 PM          153,380    couch.smv
05/30/2016  07:35 PM        34,148,832    couch_0001.restart
05/30/2016  07:38 PM          11,069,378    couch_01.bf
05/30/2016  07:38 PM          183,500    couch_01.s3d
05/30/2016  07:38 PM           8,706    couch_01.s3d.sz
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_01.sf
05/30/2016  07:38 PM          11,069,378    couch_02.bf
05/30/2016  07:38 PM           81,191    couch_02.s3d
05/30/2016  07:38 PM           8,706    couch_02.s3d.sz
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_02.sf
05/30/2016  07:38 PM          11,069,378    couch_03.bf
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_03.sf
05/30/2016  07:38 PM          11,069,378    couch_04.bf
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_04.sf
05/30/2016  07:38 PM          11,069,378    couch_05.bf
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_05.sf
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_06.sf
05/30/2016  07:38 PM          237,586    couch_07.sf
05/30/2016  07:38 PM          534,386    couch_08.sf
05/30/2016  07:38 PM          534,386    couch_09.sf
05/30/2016  07:38 PM          534,386    couch_10.sf
05/30/2016  07:38 PM          534,386    couch_11.sf
05/30/2016  07:38 PM          534,386    couch_12.sf
05/30/2016  07:38 PM          534,386    couch_13.sf
05/30/2016  07:38 PM           34,247    couch_devu.csv
05/30/2016  07:38 PM           41,038    couch_hrr.csv
05/30/2016  07:32 PM              7      couch_sun.txt
               31 File(s)          95,002,234 bytes
                2 Dir(s)          3,071,684,608 bytes free

C:\Documents and Settings\administrator\Desktop\Couch>fds6 couch.fds
OpenMP thread 1 of 4 is running
OpenMP thread 2 of 4 is running
OpenMP thread 4 of 4 is running
OpenMP thread 3 of 4 is running

Fire Dynamics Simulator
Compilation Date : Fri, 26 Sep 2014
Current Date     : June 13, 2016   20:31:08
Version         : FDS 6.1.2
SUN Revision No. : 20564

MPI Disabled
OpenMP Enabled; Number of OpenMP Threads: 4

Job TITLE       : Single Couch Test Case, SUN $Revision: 10022 $
Job ID string    : couch

Time Step: 1. Simulation Time: 0.10 s
Time Step: 2. Simulation Time: 0.20 s
Time Step: 3. Simulation Time: 0.31 s
Time Step: 4. Simulation Time: 0.41 s
Time Step: 5. Simulation Time: 0.51 s
Time Step: 6. Simulation Time: 0.61 s

```

รูปที่ 3 การสั่งผ่าน cmd.exe เพื่อรัน FDS ประมวลผลการจำลองเพลิงไหม้

การประมวลผลหลัง (Post-processor)

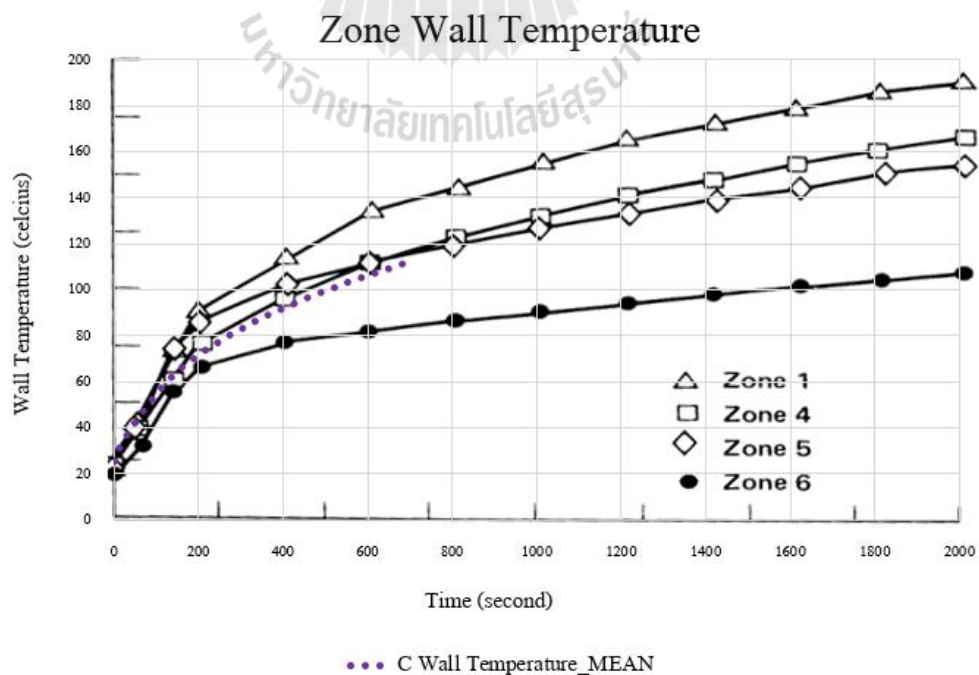
รับค่าผลเฉลยจากการประมวลผลของ FDS มาแสดงผลในรูป แบบของกราฟฟิค
ผ่านโปรแกรม Smoke View อีกทั้งได้ผลการประมวลมาในรูป ของชุดข้อมูล ที่ถูก บันทึกไว้ใน
รูป แบบของไฟล์ Microsoft Excel ดังแสดงในรูป ที่ 4

Pyrisim Calculations - Excel														
Pyrisim Calculations - Excel														
1	A	AD	AE	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ
	s	C	C	C	C	kg/m2/s	kg/m2/s	C	C	C	C	C	mol/mol	mol/m
	Time	THCP W 0.01	THCP W 0.25	Gas Temperature_MEAN	Gas Temperature_MAX	Burning Rate_MEAN	Burning Rate_MAX	Wall Temperature_MEAN	Wall Temperature_MAX	Temperature_MASS MEAN	Temperature_MEAN	Temperature_VOLUME MEAN	[Species: OXYGEN] Volume Fraction_MEAN	[Species: OXYGEN] Volume Fraction_MEAN
2														
3	0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	0.00	0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	0.21	0.21
4	1.00	25.04	25.04	25.20	341.93	0.00	0.06	25.07	35.57	25.11	25.25	25.25	0.21	0.21
5	2.00	25.62	25.67	26.10	617.90	0.00	0.12	25.90	65.69	26.34	27.80	27.80	0.21	0.21
6	3.01	26.54	26.69	34.65	643.76	0.00	0.13	26.88	83.51	28.71	31.03	31.03	0.21	0.21
7	4.00	27.61	27.85	42.65	643.84	0.00	0.13	27.56	103.41	31.23	33.81	33.81	0.21	0.21
8	5.01	28.65	28.98	48.43	648.42	0.00	0.13	28.14	122.24	33.75	36.59	36.59	0.21	0.21
9	6.00	29.55	29.95	51.03	660.96	0.00	0.13	28.60	137.02	36.22	39.36	39.36	0.21	0.21
10	7.00	30.40	30.86	54.01	670.85	0.00	0.13	29.09	147.92	38.73	42.21	42.21	0.21	0.21
11	8.01	31.11	31.62	55.25	681.76	0.00	0.13	29.45	158.47	41.16	44.72	44.72	0.21	0.20
12	9.00	31.87	32.42	56.50	678.13	0.00	0.13	29.85	177.91	43.62	47.57	47.57	0.20	0.20
13	10.00	32.47	33.05	58.84	657.67	0.00	0.13	30.11	178.55	45.95	50.03	50.03	0.20	0.20
14	11.00	32.91	33.53	63.84	663.36	0.00	0.13	30.52	191.69	48.33	52.97	52.97	0.20	0.20
15	12.01	33.18	33.83	67.00	721.05	0.00	0.13	30.89	201.65	50.68	55.75	55.75	0.20	0.20

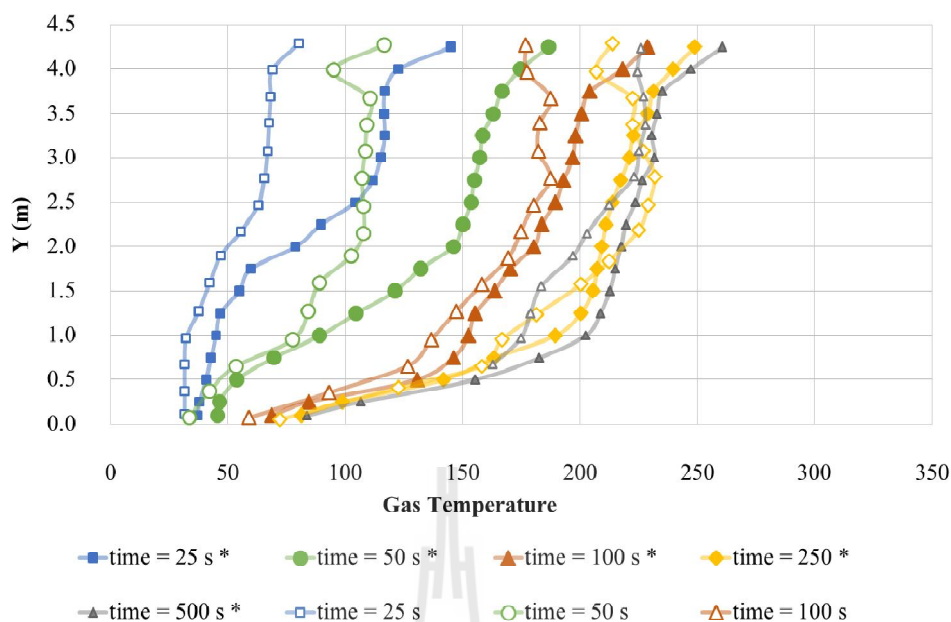
รูปที่ 4 ตัวอย่างชุดข้อมูล ที่ถูก บันทึกไว้ในรูป แบบของไฟล์การประมวลผลด้วย FDS

3.1.3 ผลการทดสอบเทียบกับโปรแกรม FDS

การเปรียบเทียบผลจากการทดลอง Forced Ventilated Enclosure Fires กับกรณีสอบเทียบด้วยการจำลอง ได้ผลดังแสดงในรูป ที่ 5-3.16

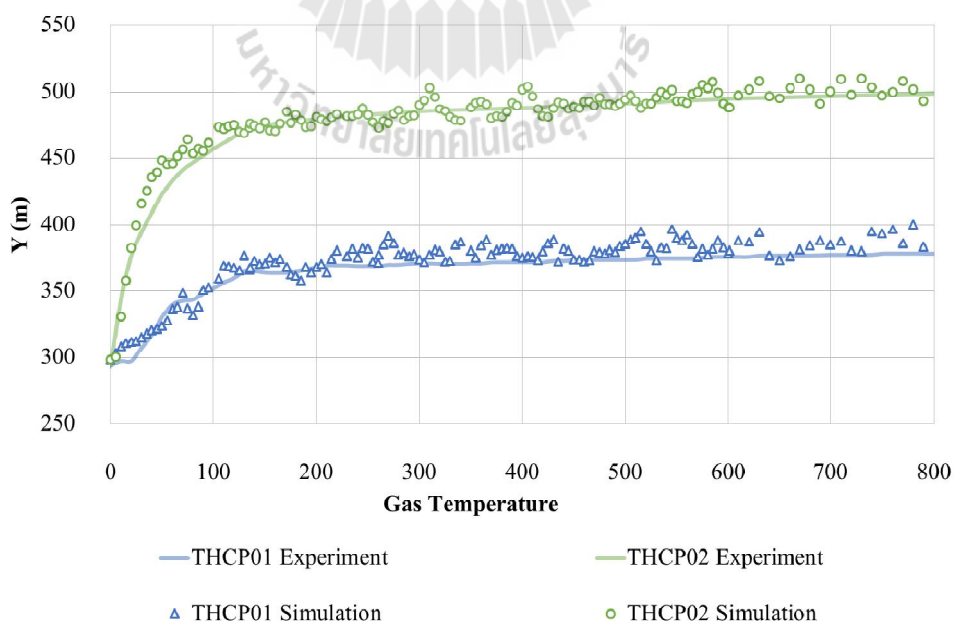


รูปที่ 5 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มิโนนผนังที่ขั้วกลางการเผาไหม้

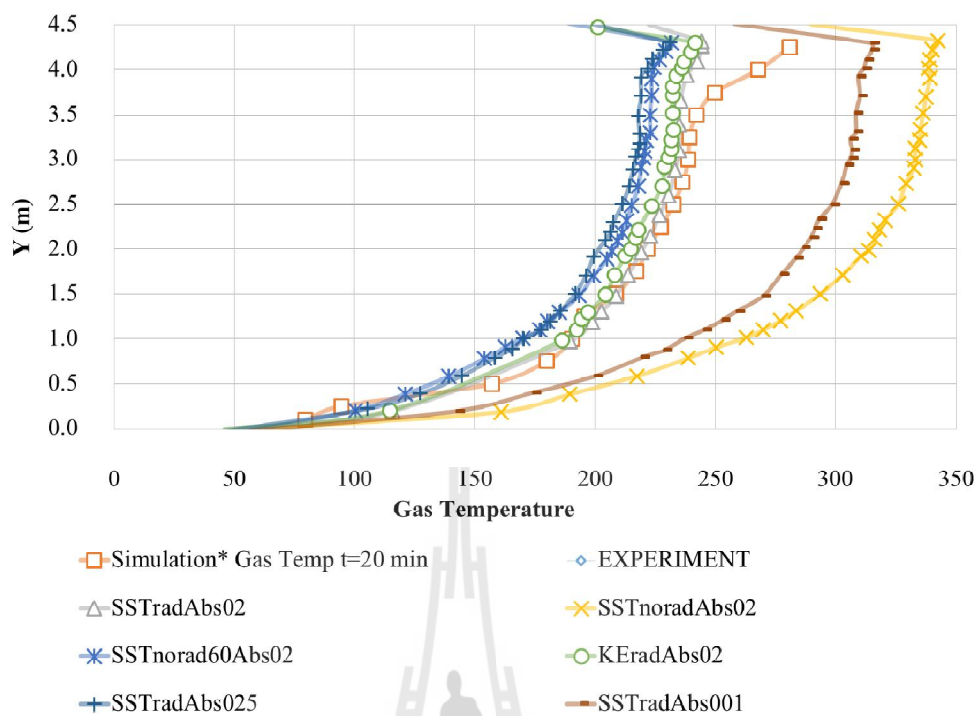


รูปที่ 6 ผลของอุณหภูมิ ที่ระยะความสูงๆ บนเส้น East Rake เมื่อเวลาใดๆ

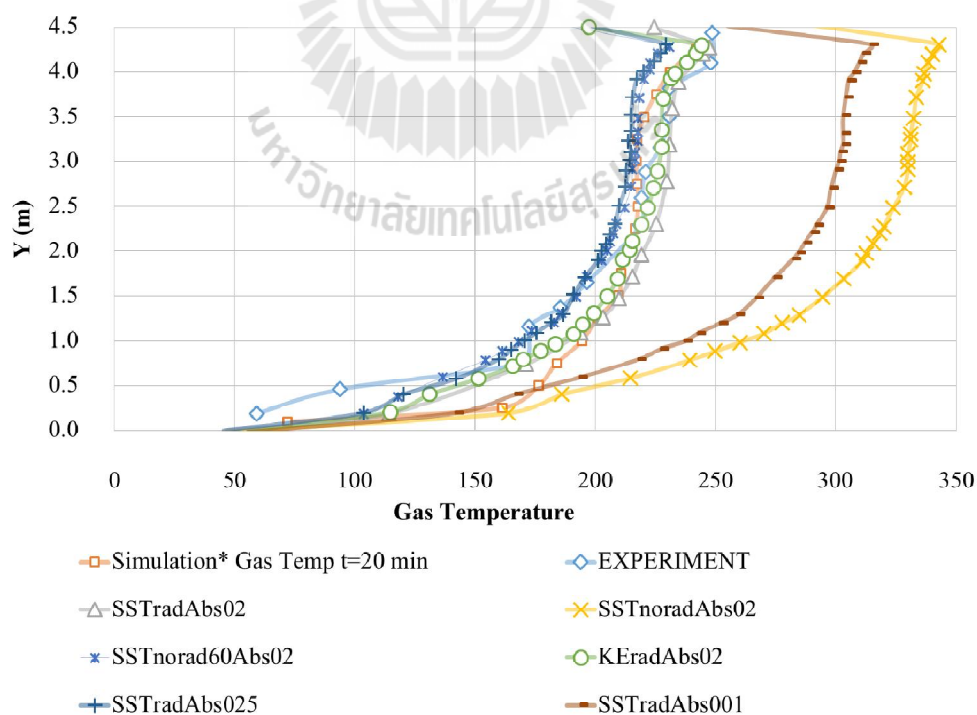
การเปรียบเทียบผลจากงานวิจัย Comparison of a CFD fire model against a ventilated fire experiment in an enclosure. กับกรณีสอบเทียบด้วยการจำลอง ได้ผลดังแสดงในรูป รูปที่ 7-3.20



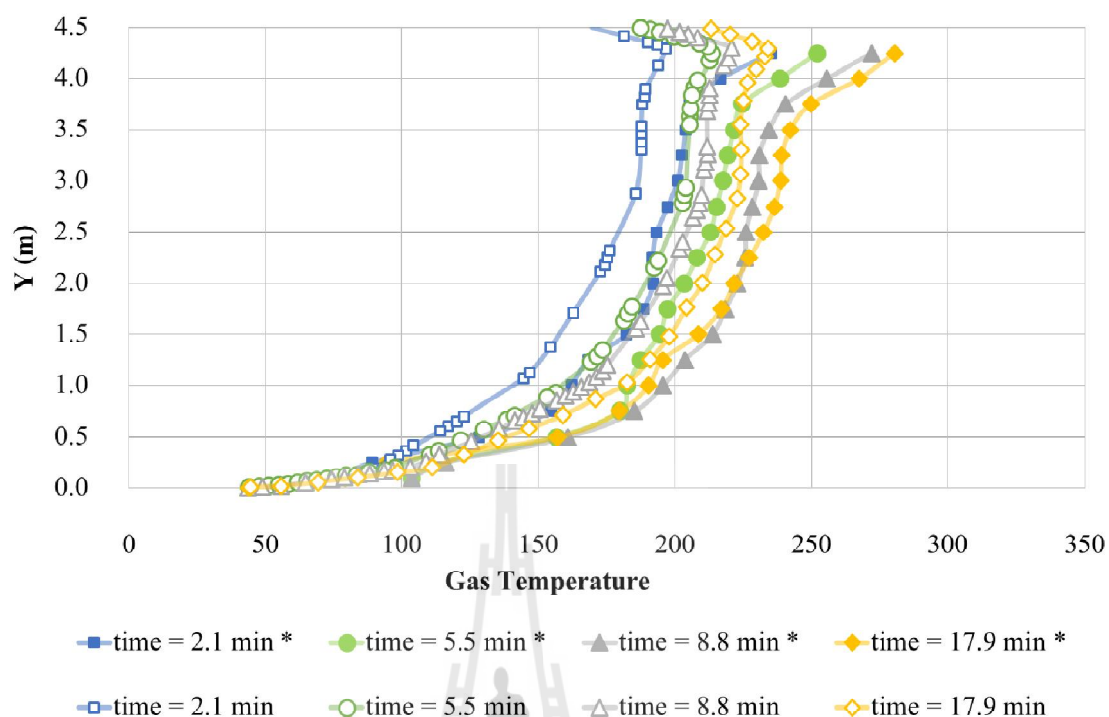
รูปที่ 7 ผลของอุณหภูมิ บนเส้น East Rake และ West Rake ที่ความสูง 3 เมตร



รูปที่ 8 ผลของอุณหภูมิ ที่ระยะความสูงๆ บนเส้นสมมติ East Rake



รูปที่ 9 ผลของอุณหภูมิ ที่ระยะความสูงๆ บนเส้นสมมติ West Rake



รูปที่ 3.10 ผลของอุณหภูมิ มีที่ระยะความสูงๆ บนเส้นสมมติ East Rake เมื่อเวลาใดๆ

3.1.3 สรุปผลการทดสอบเทียบด้วยโปรแกรม Fire Dynamics Simulator

เนื่องด้วยปัญหาการเกิดเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ เป็นปัญหาที่ไม่สามารถทำการทดลองโดยตรงได้ (เนื่องด้วยเป็นการทดลองที่มีค่าใช้จ่ายสูง) ดังนั้นจึงได้เลือกใช้วิธีการสอบเทียบเพื่อยืนยันความถูกต้องของชุดข้อมูล

ผลของการสอบเทียบการทดลองของ Alvarez และคณะ (1984) ด้วยโปรแกรม FDS ในครั้งนี้ ได้ผลที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกันระหว่างผลจากการจำลองและการทดลอง รวมถึงการศึกษางานวิจัยชิ้นอื่นๆ ที่ห้ขยับการทดลองของ Alvarez และคณะ (1984) เมื่อพิจารณาผลของการเปรียบเทียบชุดข้อมูล มีความสัมพันธ์กันแล้ว จึงได้ยึดเอาหลักการในการเขียนคำสั่งประมวลผล การตั้งค่าตัวแปรในการทดลอง ระเบียบวิธีในการทดลองดังเช่นการจำลองกรณีสอบเทียบนั้น เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศต่อไป

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

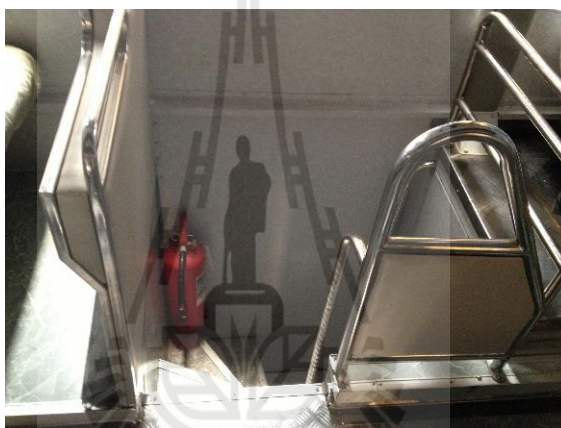
3.2.1 สถานที่การศึกษาวิจัย

ทำการศึกษาและเก็บข้อมูล ลความเร็วลม อุณหภูมิ มิ เพื่ ่อใช้เป็นข้อมูลกำหนดแบบจำลอง ที่บริษัทอุเชตชัย (อุตสาหกรรม) จำกัด จังหวัดนครราชสีมา

ปฏิบัติงานการจำลอง และศึกษาข้อมูล ลในงานวิจัย ที่ห้บ38 อาคารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

3.2.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.2.2.1 การเก็บข้อมูล ภายในห้องโดยสาร



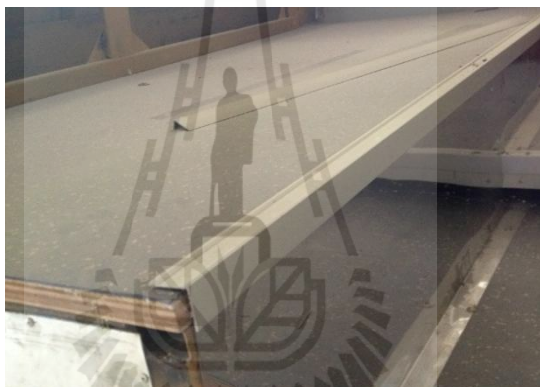
รูปที่ 3.2.1 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ดับเพลิง



รูปที่ 3.2.2 วัสดุประเภทโฟมกันความร้อน ใ้บุฝ้าเพดานและผนังห้องโดยสาร



รูปที่ 3 วัสดุประเภทโฟมเบา ใช้บุฝ้าเพดานและผนังห้องโดยสาร



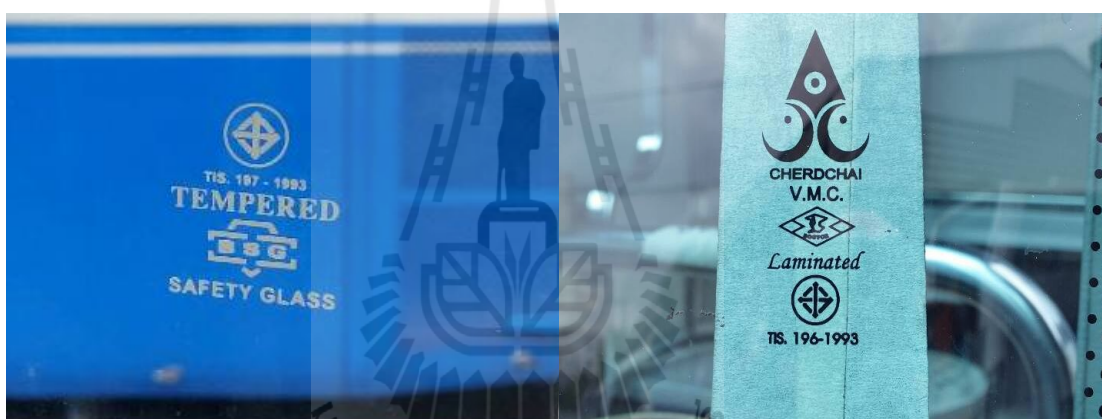
รูปที่ 4 วัสดุประเภทไม้อัดหนา ใช้บุพื้นห้องโดยสาร



รูปที่ 5 วัสดุประเภทหนังสังเคราะห์หรือ ผ้าทอลวดลาย ใช้หุ้มเบาะ



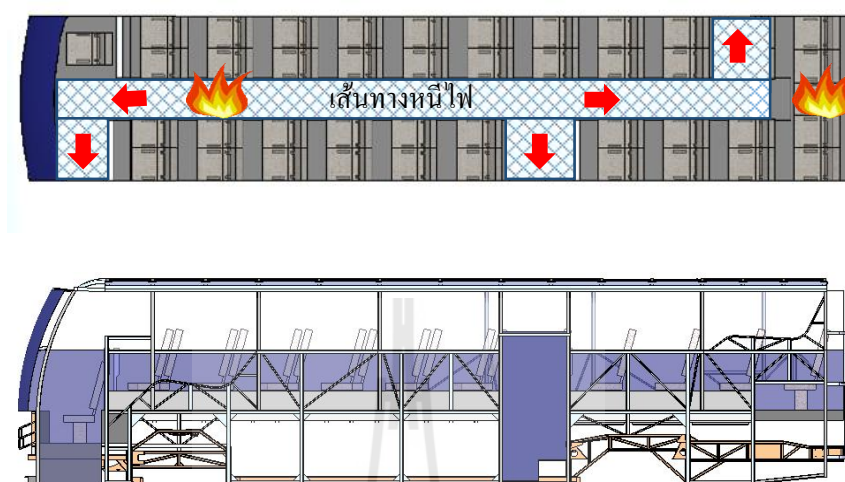
รูปที่ 6 วัสดุประเภท Metal Textured Sheet ใช้ปู พื้นทางเดินบริเวณบันได



รูปที่ 7 วัสดุประเภท Tempered Glass และ Laminated Glass ใช้เป็นกระจกผนังห้องโดยสาร

การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ที่ติดตั้งเบาะผู้โดยสารทั้งสิ้น 44 ที่นั่ง ทั้งนี้เว้นการนำเอาโมเดลผู้โดยสารเข้ามาในโดเมนปัญหา เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่ยากต่อการควบคุมในกรณีเกิดเพลิงไหม้เช่น ไม่สามารถควบคุมได้ว่าเมื่อเกิดเพลิงไหม้ผู้โดยสารจะรวมตัวกันในบริเวณใดของห้องโดยสาร อีกทั้งยังยากต่อการแบ่งอิลิเมนต์ย่อยในการเขียนคำสั่งประมวลผล เพื่อทำนายพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้และประมาณระยะเวลาปลอดภัยในการเอาตัวรอดจากเหตุการณ์เพลิงไหม้ในห้องโดยสาร จากการศึกษาข้อมูลอุบัติเหตุเพลิงไหม้รถโดยสารพบว่ามักมีต้นเพลิงลุกลามจากถังน้ำมัน (กรณี A) (ตำแหน่งในการติดตั้งถังน้ำมันแสดงในรูปที่ 3.30) และลุกลามจากห้องเครื่องยนต์ตำแหน่งท้ายล่างห้องโดยสาร(กรณี B) อ้างอิงตามผลการตรวจอุบัติเหตุร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยดังกล่าวไว้ในบทนำ มีเส้นทางหนีไฟ

ทั้งหมด 3 ตำแหน่งคือ ประตูรับส่งผู้โดยสารด้านหน้า ประตูรับส่งผู้โดยสารกลาง และประตูหนีไฟ ด้านหลังห้องโดยสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้และเส้นทางหนีไฟบนรถโดยสารปรับอากาศ

การประเมินระยะปลอดภัยในการเอาตัวรอดจากเหตุการณ์เพลิงไหม้รถโดยสารปรับอากาศนั้น ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ทางหนีไฟหลักมีเพียง 3 ทางหลักเท่านั้นเนื่องจากเป็นรถปรับอากาศหน้าต่างห้องโดยสารเป็นกระจกไม่สามารถเปิดปิดได้ (ทั้งนี้ไม่พิจารณาประตูพนักงานขับรถ เนื่องจากในบางรุ่นของรถโดยสารชั้นครึ่ง จะมีราวหรือผนังกั้นแยกพนักงานขับรถไว้ ผู้โดยสารไม่สามารถใช้ประตูพนักงานขับรถในการหนีไฟได้) อีกทั้งบางกรณีอาจพบว่า ทางหนีไฟ 3 ทางหลัก บางส่วนไม่สามารถใช้งานได้ เช่นกรณีเกิดอุบัติเหตุระบบไฟฟ้าในรถโดยสารถูกตัดขาดทำให้ไม่สามารถสั่งงานเปิดปิดประตูห้องโดยสารได้ ทำให้เหลือทางหนีไฟหลักเพียงทางเดียวคือประตูฉุกเฉิน หรือแม้กระทั่งกรณีอุบัติเหตุที่นอกจากระบบไฟฟ้าในรถโดยสารถูกตัดเปิดปิดประตูห้องโดยสารไม่ได้ ไม่สามารถเปิดประตูฉุกเฉินได้ อีกทั้งไม่สามารถทุบกระจก Tempered ที่ติดตั้งเพื่อเป็นทางหนีไฟฉุกเฉินสำรองได้อีก จึงทำให้ไม่เหลือช่องทางในการหนีไฟเลย เป็นต้น เพื่อวิเคราะห์ให้ครอบคลุมเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นให้ได้มากที่สุดจึงจำแนกการศึกษาออกเป็น 6 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นแสดงผล/วิเคราะห์ผลการทำนายด้วยโปรแกรม Smoke View 6.1.12 ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. พฤติกรรมการกระจายควัน (Soot) ในห้องโดยสาร
2. พฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องโดยสาร
3. พฤติกรรมการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร

4. พฤติกรรมการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องโดยสาร

5. พฤติกรรมการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสาร

ตารางที่ 3.3 กรณีศึกษาการเกิดเพลิงไหม้ที่มีต้นเพลิงและช่องทางหนีไฟแตกต่างกัน

กรณี	จุดต้นเพลิง	ช่องทางหนีไฟ	เวลาในการอพยพ (วินาที)*
1 A	ถังน้ำมัน	ไม่มีช่องทางหนีไฟ	0
2 A	ถังน้ำมัน	Emergency Door	48 วินาที
3 A	ถังน้ำมัน	ประตูรับส่งผู้โดยสาร	48 วินาที
1 B	เครื่องยนต์	ไม่มีช่องทางหนีไฟ	0
2 B	เครื่องยนต์	Emergency Door	48 วินาที
3 B	เครื่องยนต์	ประตูรับส่งผู้โดยสาร	48 วินาที

การคำนวณเวลาในการอพยพ Fahy (2003) ได้กล่าวไว้ว่า เวลาในการอพยพสำหรับแต่ละบุคคลเป็นช่วงเวลาทั้งหมด เริ่มตั้งแต่เกิดการลุกไหม้จนกระทั่งคนเริ่มอพยพออกจากพื้นที่ประสบเหตุไปสู่จุดที่ปลอดภัย จะประกอบไปด้วย 1. ช่วงหน่วงเวลา (Delay Time) คือช่วงเวลาที่เกิดเพลิงไหม้จนมีการแจ้งเตือนให้คนรู้สึกตัวจนกระทั่งเริ่มทำการหนีไฟและ 2. เวลาที่คนเริ่มอพยพจนกระทั่งไปอยู่ในจุดที่ปลอดภัย (Travel or Movement time) ในกรณีการเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสารปรับอากาศนี้ ให้ช่วงหน่วงเวลาเป็น 0 วินาที เนื่องจากเป็นพื้นที่จำกัด สามารถรับรู้และเริ่มอพยพได้ทันทีหลังจากการเกิดเพลิงไหม้ขึ้นภายในรถโดยสาร หลังจากช่วงหน่วงเวลา การคำนวณเวลาในการอพยพผู้โดยสารไปสู่พื้นที่ปลอดภัยสามารถประมาณได้โดยค่าคงที่ของ Fahy โดยระบุไว้ว่า เมื่อประเภททางออกเป็นทางเดินระหว่างอาคาร ทางเดินระหว่างที่นั่ง ทางลาดและทางประหว่งประตูบันได ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณหาเวลาในการอพยพจะเท่ากับ 1.32 คนต่อวินาที ต่อเมตร ความกว้างสุทธิ ซึ่งในกรณีการอพยพคนในห้องโดยสารไปสู่ช่องทางหนีไฟหลัก เป็นลักษณะทางลำเลียงหนีไฟระหว่างที่นั่ง จึงได้เลือกใช้ค่าคงที่ในการคำนวณเท่ากับ 1.32 ดังจะได้เวลาในการอพยพเท่ากับ

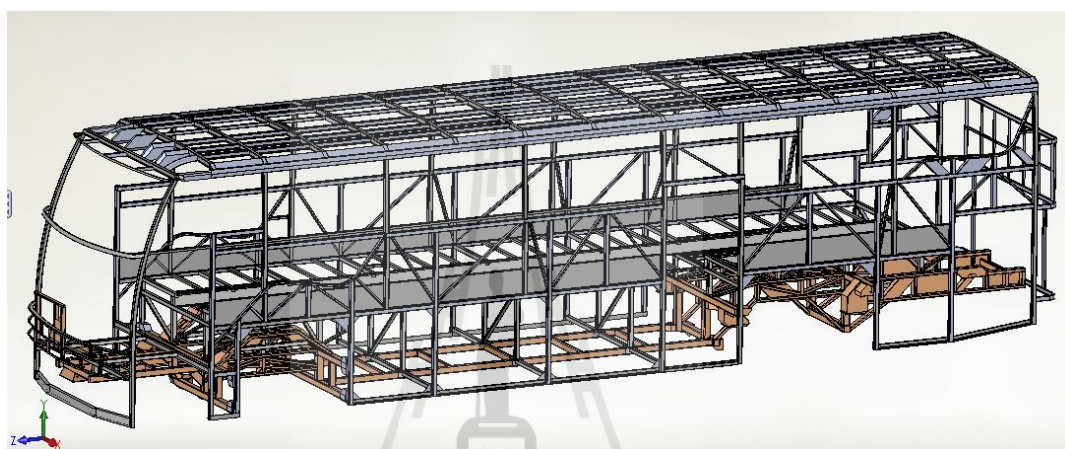
$$1.32 \text{ คน/วินาที/เมตรความกว้างประตูหนีไฟ} \times 43 \text{ คน} \times 0.84 \text{ เมตร} = 48 \text{ วินาที}$$

อธิบายความหมายได้ว่า เมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้นบนรถโดยสารปรับอากาศ ผู้โดยสาร 43 คน (ไม่รวมพนักงานขับรถ) จะใช้เวลา 48 วินาที ในการอพยพออกนอกห้องโดยสารได้อย่างปลอดภัย แต่ถ้าในกรณีที่ภายใน 48 วินาที ผู้โดยสารไม่สามารถอพยพสู่พื้นที่ปลอดภัยได้ทั้งหมด การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้บนรถโดยสารปรับอากาศทั้ง 6 กรณี จะวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้โดยสาร เช่น อันตรายจากการสูดดมควันพิษ อันตรายจากการขาดออกซิเจน อันตราย

จากอุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัดของร่างกาย รวมถึงระยะเวลาที่ผู้โดยสารสามารถทนอยู่ในห้องโดยสารได้โดยไม่มีอันตรายร้ายแรง เป็นต้น

3.2.2.2 สร้างแบบปริมาตรจำลองหรือ โดเมนปัญหา

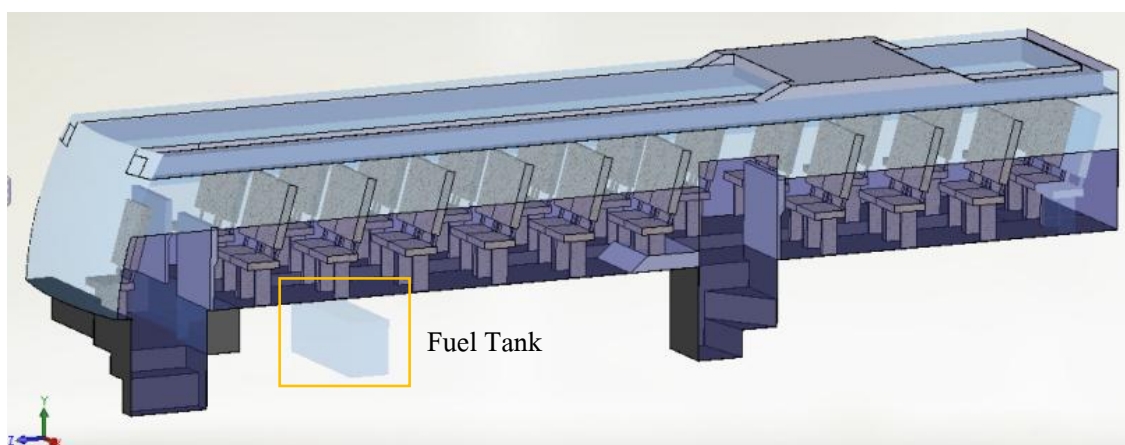
ทำการสร้างแบบจำลองห้องโดยสารปรับอากาศรุ่นชั้นครึ่งแบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Solid Works จากโครงสร้างหลักโดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.31 เพื่อให้ได้โดเมนปัญหาหรือโดเมน



รูปที่ 3.31 โครงสร้างหลักของรถโดยสารปรับอากาศรุ่นชั้นครึ่ง ขนาด 12 x 2.5 x 3.5 เมตร



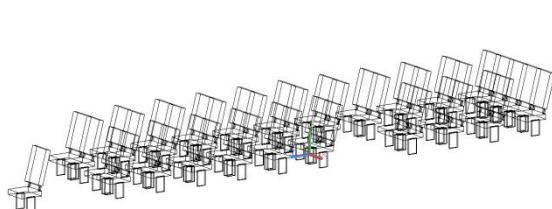
รูปที่ 3.32 ส่วนประกอบภายในห้องโดยสาร



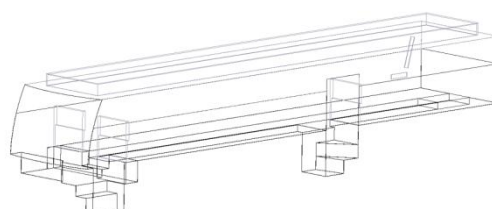
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบภายนอกห้องโดยสาร

3.2.2.3 การสร้างกริด

เมื่อสร้างห้องโดยสารรถโดยสารปรับอากาศนั้นทำการเปลี่ยนโดเมนปัญหาโดยสารถจากไฟล์ parasolid จากโปรแกรม Solid Work 2014 (นามสกุล .x_t) ให้เป็นไฟล์ Drawing 3D (นามสกุล .dwg) ด้วยโปรแกรม Autocad ดังแสดงในรูปที่ 3.2 นี้เองจากไฟล์ .dwg สามารถเชื่อมโยโดเมนปัญหาใดๆ ที่เป็นรูป 3 มิติจาก parasolid ให้เป็นชุดข้อมูล 3 มิติ หรือ 3 มิติ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการแบ่งอิลิเมนต์ย่อยในการเขียนคำสั่งโปรแกรม FDS จากนั้นทำการส่งต่อโดเมนปัญหาโดยสารถเข้าสู่กระบวนการสร้างกริดหรือการสร้างเฮลิเมนต์โดยโปรแกรม Pyrosim ซึ่งจะได้ผลออกมาในลักษณะพิกัด $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ โดยแบ่งพื้นที่ของโดเมนปัญหาโดยสารถออกเป็น 5 ส่วน สร้างกริดลักษณะ 4 เหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีขนาดของกริดแตกต่างกัน 3 ขนาด และแบ่งการทำงานพฤติกรรมเพลิงไหม้เมื่อต้นเพลิงลุกลามจากถังน้ำมัน (กรณี A) และลุกลามจากห้องเครื่องยนต์ (กรณี B) ดังแสดงในรูปที่ 3.34 และ ตาราง 3.4 – 3.5

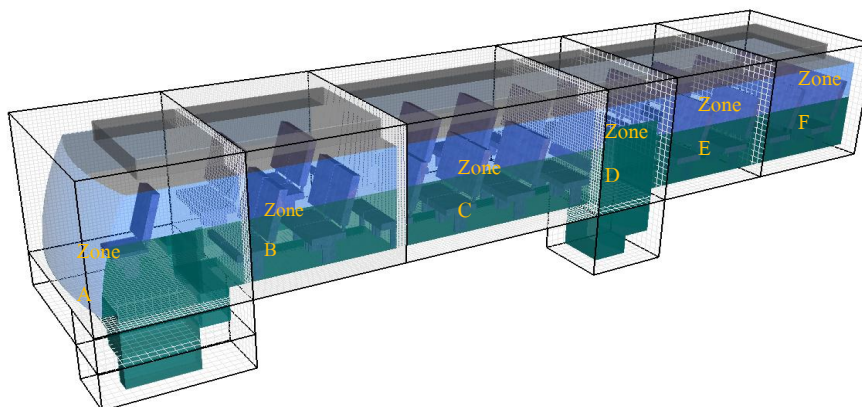


(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนโดเมนปัญหาจาก parasolid ให้เป็นไฟล์ .dwg ด้วยโปรแกรม Autocad



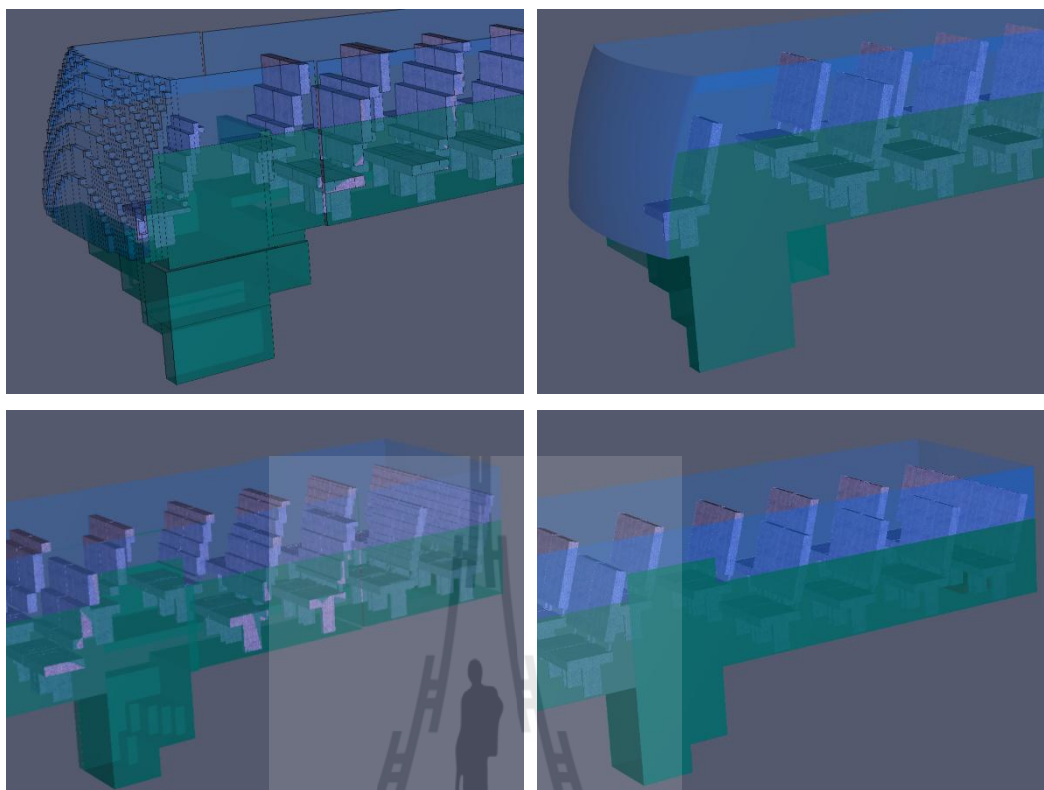
รูปที่ 3.3 ลักษณะการแบ่งพื้นที่ของโดเมนปัญหาโดยสาร

ตารางที่ 3.4 ข้อมูล ลักษณะพื้นที่ของโดเมนปัญหาโดยสารกรณี A

ลำดับ ที่	โซน	จำนวนอิเลเมนต์ ตาม ระยะแกน x,y,z ตามลำดับ	จำนวนอิเลเมนต์รวม (ในโซน)	ขนาดความกว้าง ของอิเลเมนต์ (m)
1	A	52x36x50	77,940	0.05
2	B	52x40x40	83,200	0.05
3	C	52x60x40	124,800	0.05
4	D	26x12x30	7,560	0.1
5	E	26x19x20	9,880	0.1
6	F	26x21x20	10,920	0.1
รวมจำนวนอิเลเมนต์ที่ใช้ในการจำลองทั้งสิ้น			314,300	-

ตารางที่ 3.5 ข้อมูล ลักษณะพื้นที่ของโดเมนปัญหาโดยสารกรณี B

ลำดับ ที่	โซน	จำนวนอิเลเมนต์ ตาม ระยะแกน x,y,z ตามลำดับ	จำนวนอิเลเมนต์รวม (ในโซน)	ขนาดความกว้าง ของอิเลเมนต์ (m)
1	A	26x18x30	12,420	0.1
2	B+C	26x50x20	26,000	0.1
3	D	26x12x30	7,560	0.1
4	E	52x40x40	83,200	0.05
5	F	52x40x40	83,200	0.05
รวมจำนวนอิเลเมนต์ที่ใช้ในการจำลองทั้งสิ้น			212,380	-



รูปที่ 3.8 การจัดวางอีเลเมนต์ 4 เหลี่ยม ในโดเมนปัญหารถโดยสาร

3.2.2.4 การเขียนคำสั่งประมวลผล

โปรแกรม FDS เป็นหน่วยรับคำสั่งจากการประมวลผลจาก Code ที่เขียนขึ้นเพื่อจัดการจำลองซึ่งในที่นี้ได้ออกมาใน Notepad เนื่องจากเป็นโปรแกรมสามัญในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่สามารถหาใช้ได้ง่าย ใช้หน่วยความจำไม่มาก การประมวลผลทำได้โดยสั่งผ่าน cmd.exe จากนั้น FDS จะทำการประมวลผลตามเงื่อนไขที่กำหนด เงื่อนไขข้อขอบเขต และเวลาในการจำลอง ที่ผู้เขียนระบุไว้ในคำสั่งแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล

คำสั่ง	หมายเหตุ
&HEAD CHID='Bus_Simulation_-_Fuel_tank_fir/'	เปิดการเขียนคำสั่งประมวลผล
&TIME T_END=1000.0, DT=0.2/ &DUMP	ตั้งเวลาในการประมวลผล 600 s. Step size = 0.2 s.
RENDER_FILE='Bus_Simulation_-_Fuel_tank_fir.gel', DT_RESTART=300.0/	คำสั่งประมวลผลไฟล์ Bus_Simulation_-_Fuel_tank_fir โดยให้บันทึกไฟล์ข้อมูลลงใน

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล (ต่อ)

คำสั่ง	หมายเหตุ
	300 s.
&MESH ID='All Zone-a-b', IJK=18,18,5, XB=-0.05,1.75,-1.5,0.3,6.8,7.3/ &MESH ID='All Zone-a-c', IJK=6,18,5, XB=1.75,2.35,-1.5,0.3,6.3,6.8/ &MESH ID='All Zone-a-d', IJK=6,18,5, XB=1.75,2.35,-1.5,0.3,6.8,7.3/ &MESH ID='All Zone-b', IJK=24,18,20, XB=-0.05,2.35,-1.5,0.3,7.3,9.3/ &MESH ID='All Zone-d', IJK=24,50,20, XB=-0.05,2.35,0.3,5.3,7.3,9.3/ &MESH ID='All Zone-e-b', IJK=9,12,10, XB=1.45,2.35,5.3,6.5,6.3,7.3/ &MESH ID='All Zone-f', IJK=24,12,20, XB=-0.05,2.35,5.3,6.5,7.3,9.3/ &MESH ID='All Zone-h', IJK=24,40,20, XB=-0.05,2.35,6.5,10.5,7.3,9.3/	การตั้งชื่อ โซนของอิลิเมนต์ตั้งจำนวนการแบ่งอิลิเมนต์, พิกัด $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ของอิลิเมนต์
&REAC ID='DIESEL', FUEL='REAC_FUEL', C=12, H=26, O=0, CRITICAL_FLAME_TEMPERATURE=1600.0, AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=400.0, SOOT_H_FRACTION=0.0, CO_YIELD=0.058, SOOT_YIELD=0.015, HEAT_OF_COMBUSTION=4.498E4/	ตั้งค่าคุณสมบัติของ วัสดุประเภทไม้ (อ้างอิงข้อมูล จาก www.KristopherOverholt.com , The Scientific software development and scientific computing)
&MATL ID='NEW ADD FLOOR and WALLS', FYI='NEW ADD FLOOR', SPECIFIC_HEAT=1.0, CONDUCTIVITY=0.39, DENSITY=1440.0/ &MATL ID='NEW ADD CEILING', FYI='NEW ADD CEILING', SPECIFIC_HEAT=1.0,	ตั้งค่าคุณสมบัติของ วัสดุประเภทพื้นและผนัง (Alvarez et al, 1984)

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล (ต่อ)

คำสั่ง	หมายเหตุ
CONDUCTIVITY=0.63, DENSITY=1920.0/	ตั้งค่าคุณสมบัติของ วัสดุประเภทฝ้าเพดาน (Alvarez et al, 1984)
&MATL ID='TILE MATERIAL', FYI='UL Report NC987-96NK37863 - UL NFPRF Validation', SPECIFIC_HEAT=0.75, CONDUCTIVITY=0.0611, DENSITY=313.0/	ตั้งค่าคุณสมบัติของ วัสดุประเภทฝ้าเบาะเก้าอี้ ผู้ โดย (Default FDS Properties Data)
&SURF ID='GLASS', RGB=0,102,255, TRANSPARENCY=0.2, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='NEW ADD FLOOR and WALLS', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.02/	ตั้งค่าคุณสมบัติของ วัสดุประเภทกระจก (อ้างอิงข้อมูล จาก w.Kristopher Overholt.com, The Scientific software development and scientific computing)
&SURF ID='FLOOR', RGB=0,102,102, TRANSPARENCY=0.6, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='NEW ADD FLOOR and WALLS', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.05/	ระบุชนิดของวัสดุ เพื่อ การประมวลผล
&SURF ID='CEILING', RGB=102,102,102, TRANSPARENCY=0.501961, BACKING='VOID', MATL_ID(1,1)='NEW ADD CEILING', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.05/	ระบุชนิดของวัสดุ เพื่อ การประมวลผล
&SURF ID='SEAT', RGB=146,202,166, TEXTURE_MAP='psm_blue.jpg', TEXTURE_WIDTH=0.6096,	ระบุชนิดของวัสดุ เพื่อ การประมวลผล

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล (ต่อ)

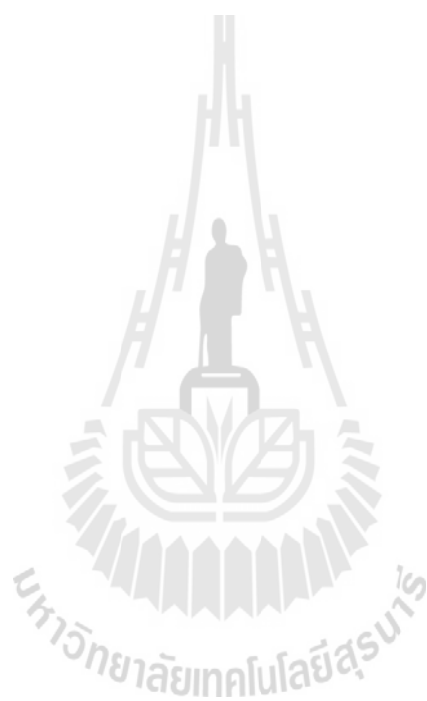
คำสั่ง	หมายเหตุ
TEXTURE_HEIGHT=0.6096, BURN_AWAY=.TRUE., BACKING='INSULATED', MATL_ID(1,1)='TILE MATERIAL', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.01/	
&SURF ID='FIRE BOX', RGB=153,0,0, BURN_AWAY=.TRUE., BACKING='INSULATED', MATL_ID(1,1)='FOAM', MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0, THICKNESS(1)=0.1/	ระบุชนิดของวัสดุ เพื่อการประมวลผล
&SURF ID='BURNER', COLOR='RED', HRRPUA=2.205E3, TAU_Q=-1.0/	ระบุชนิดของวัสดุ เพื่อการประมวลผล
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=1.05,1.25,1.4,1.5,7.41,7.41/ FIRE POINT	ระบุพิกัดการเกิดเพลิงไหม้
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.4/ &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', PBX=0.4/ &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=0.4/ &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.4/ &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=1.15/ &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.15/ &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', PBX=1.15/ &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=1.15/ &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.9/ &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION',	การตั้งค่าการแสดงผล

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล (ต่อ)

คำสั่ง	หมายเหตุ
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', PBX=1.9/ &SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=1.9/ &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=1.9/	
&DEVC ID='[Species: AIR] Volume Fraction_MASS MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='AIR', STATISTICS='MASS MEAN', XB=-0.05,2.35,- 1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: AIR] Volume Fraction_MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='AIR', STATISTICS='MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: AIR] Volume Fraction_VOLUME MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='AIR', STATISTICS='VOLUME MEAN', XB=- 0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction_MASS MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', STATISTICS='MASS MEAN', XB=-0.05,2.35,- 1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction_MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', STATISTICS='MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: CARBON MONOXIDE] Volume Fraction_VOLUME MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', STATISTICS='VOLUME MEAN', XB=-0.05,2.35,- 1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Temperature_MASS MEAN', QUANTITY='TEMPERATURE', STATISTICS='MASS MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Temperature_MEAN',	การตั้งค่าการแสดงผล

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างการเขียนคำสั่งประมวลผล (ต่อ)

คำสั่ง	หมายเหตุ
<p>QUANTITY='TEMPERATURE', STATISTICS='MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Temperature_VOLUME MEAN', QUANTITY='TEMPERATURE', STATISTICS='VOLUME MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Gas Temperature_MEAN', QUANTITY='GAS TEMPERATURE', STATISTICS='MEAN', XB=-0.05,2.35,- 1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Heat Release Rate per Unit Volume_MASS MEAN', QUANTITY='HRRPUV', STATISTICS='MASS MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Heat Release Rate per Unit Volume_VOLUME INTEGRAL', QUANTITY='HRRPUV', STATISTICS='VOLUME INTEGRAL', XB=-0.05,2.35,- 1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Heat Release Rate per Unit Volume_VOLUME MEAN', QUANTITY='HRRPUV', STATISTICS='VOLUME MEAN', XB=-0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='Heat Release Rate per Unit Volume_MEAN', QUANTITY='HRRPUV', STATISTICS='MEAN', XB=- 0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: OXYGEN] Volume Fraction_MASS MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', STATISTICS='MASS MEAN', XB=- 0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: OXYGEN] Volume Fraction_MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', STATISTICS='MEAN', XB=- 0.05,2.35,-1.5,10.5,6.3,9.3/ &DEVC ID='[Species: OXYGEN] Volume Fraction_VOLUME MEAN', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', STATISTICS='VOLUME MEAN', XB=-0.05,2.35,- 1.5,10.5,6.3,9.3/</p>	
&TAIL /	จบการเขียนคำสั่งประมวลผล



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.1 การทำนายพฤติกรรมของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 1A - 3A

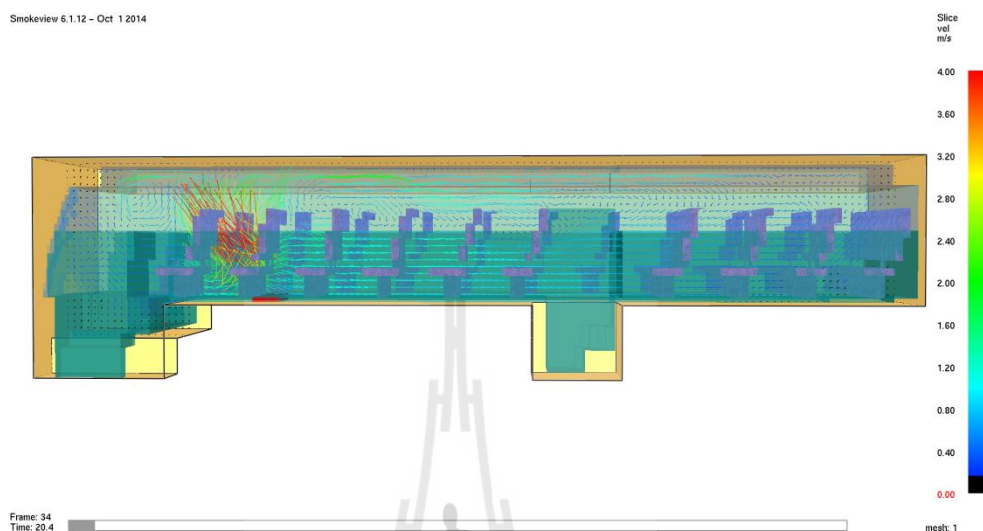
การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ จำแนกกรณีศึกษาออกเป็น 6 กรณีเพื่อให้ครอบคลุมเหตุการณ์เพลิงไหม้ที่มีต้นเพลิงในตำแหน่งถังน้ำมัน (กรณี A) และถูกลามจากห้องเครื่องยนต์ (กรณี B) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ในกรณี 1A ต้นเพลิงเกิดในบริเวณถังน้ำมัน และไม่มีช่องทางหนีไฟ ซึ่งเกิดได้ในหลายรูปแบบเช่น ในกรณีที่ประตูฉุกเฉิน (Emergency Door) ไม่สามารถเปิดใช้งานได้ ประตูห้องโดยสารไม่สามารถเปิดใช้งานได้ หรือประตูฉุกเฉินและประตูห้องโดยสารไม่สามารถเปิดใช้งานได้ทันเวลา

การแสดงผลในรูปที่ 4.1 พบว่าเวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศที่ระนาบกลางห้องโดยสารกรณี 1A มีการม้วนตัวและโน้มตัวไปในทิศทางด้านหน้าโถงบันไดหน้าห้องโดยสาร มีความเร็วสูงสุดที่จุดกึ่งกลางกองเพลิงโดยประมาณ 4.0 m/s ในวินาทีที่ 20 จากนั้นความเร็วมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งวินาทีที่ 1000 ความเร็วมีค่าเพียง 0.2 m/s โดยประมาณ เวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศมีความปั่นป่วนสูงในบริเวณส่วนหน้าของห้องโดยสาร และมีความปั่นป่วนต่ำลงจนกระทั่งราบเรียบที่ท้ายห้องโดยสาร ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับพฤติกรรมการกระจายควัน การกระจายอนุภาคน้ำมัน การกระจายก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสาร ซึ่งมีความปั่นป่วนไปในทิศทางเดียวกัน

ผลทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ฯ ในกรณี 2A ต้นเพลิงเกิดในบริเวณถังน้ำมันเช่นเดียวกับกรณี 1A ประตูปกติที่ใช้ในการรับส่งผู้โดยสารไม่สามารถเปิดใช้งานได้ ซึ่งกรณีนี้จำลองเพื่อเทียบเคียงเหตุการณ์ที่รถโดยสารเกิดอุบัติเหตุกะทันหัน เครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าดับ ประตูห้องโดยสารไม่สามารถใช้เพื่ออพยพผู้โดยสารออกจากห้องโดยสารได้ จึงมีทางเลือกในการหนีไฟเพียง 1 ทางคือ ทางออกฉุกเฉิน (Emergency Door) เท่านั้น

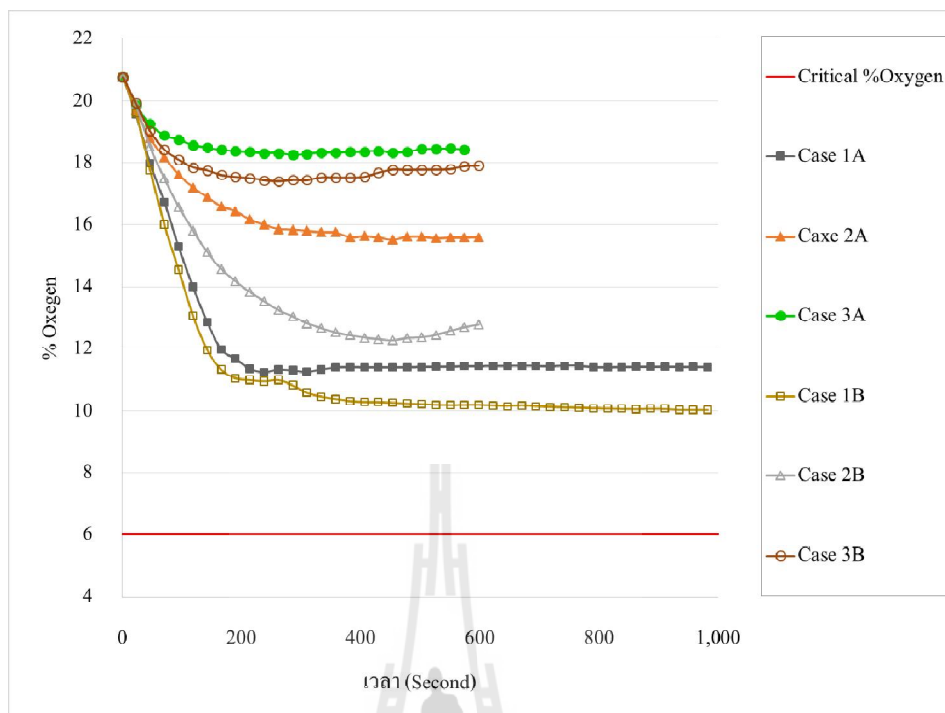
และการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ฯ กรณี 3A ต้นเพลิงเกิดในบริเวณถังน้ำมันเช่นเดียวกับกรณี 1A มีทางหนีไฟคือประตูรับส่งผู้โดยสารด้านหน้า-กลางห้องโดยสารพบว่าพฤติกรรมการกระจายควัน การกระจายอนุภาคน้ำมัน การกระจายก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ภายในห้องโดยสารดังกล่าวมีความสัมพันธ์สอดคล้องและมีความปั่นป่วนไปในทิศทางเดียวกันกับกรณี 1A แต่มีค่าแตกต่างไปตามกรณีศึกษา

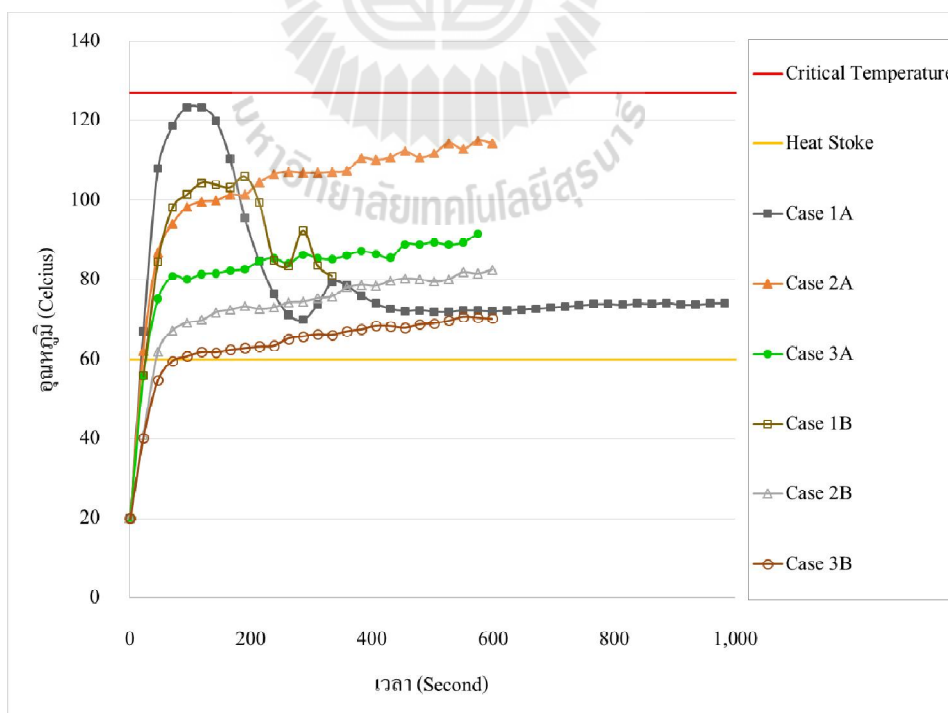


รูปที่ 4.1 เวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องโดยสารกรณี 1A

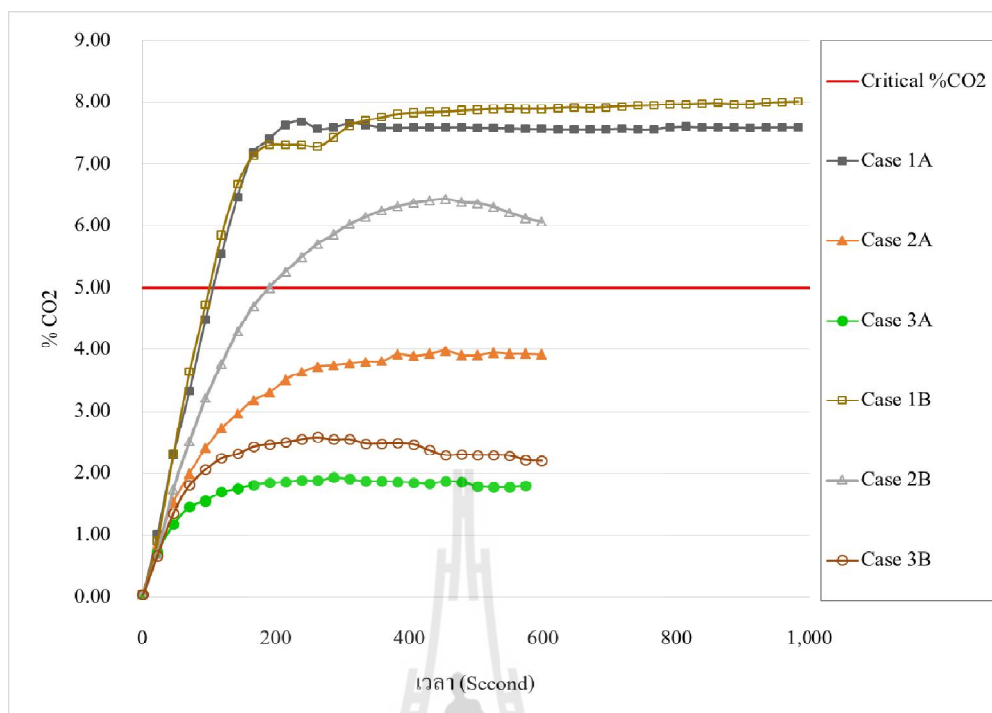
การวิเคราะห์สภาวะบรรยากาศเป็นอันตราย (Hazardous Atmosphere) มนุษย์สามารถทนต่อสภาวะบรรยากาศที่มีความเป็นพิษ (Toxic Atmosphere) ได้ขีดจำกัดเพียงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น โดยเฉลี่ยหากมนุษย์รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบหายใจในระดับความเข้มข้นเกินร้อยละ 1.26 และได้รับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เข้าสู่ระบบหายใจในระดับความเข้มข้นเกินร้อยละ 5.00 จะทำให้หมดสติภายใน 1-3 นาทีของการหายใจและอาจถึงแก่ชีวิตได้ มนุษย์สามารถต่อสภาวะบรรยากาศขาดออกซิเจน (Oxygen Deficient Atmosphere) เมื่อก๊าซออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 19.5 จะถือว่าเป็นบรรยากาศขาดออกซิเจน เมื่อปริมาณลดลงเหลือร้อยละ 14 - 16 หรือน้อยกว่าจะเกิดอาการมึนงง ตัดสินใจผิดพลาด และหายใจไม่ออกเสียชีวิตเมื่อปริมาณลดลงเหลือร้อยละ 6 และการลดปริมาณก๊าซออกซิเจนจากร้อยละ 21 ในอากาศให้ต่ำกว่าร้อยละ 16 ถือเป็นการจำกัดองค์ประกอบอากาศเกิดเพลิงไหม้ นอกจากนี้ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิก็เป็นส่วนหนึ่งสำคัญในการพิจารณาขีดสุดความสามารถที่มนุษย์สามารถทนได้ ดังข้อมูลจากรายงาน NASA report ในปี ค.ศ. 1958 ระบุว่าเมื่อนุษย์ตกอยู่ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50% เป็นระยะเวลา 10 นาทีขึ้นไป มนุษย์จะมีภาวะความร้อนลวกเงินหรือ Heat Stroke ที่เป็นอันตรายต่อชีวิต และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 127 องศาเซลเซียส ร่างกายและผิวหนังของมนุษย์จะไม่สามารถทนได้และเสียชีวิตในเวลาไม่นาน



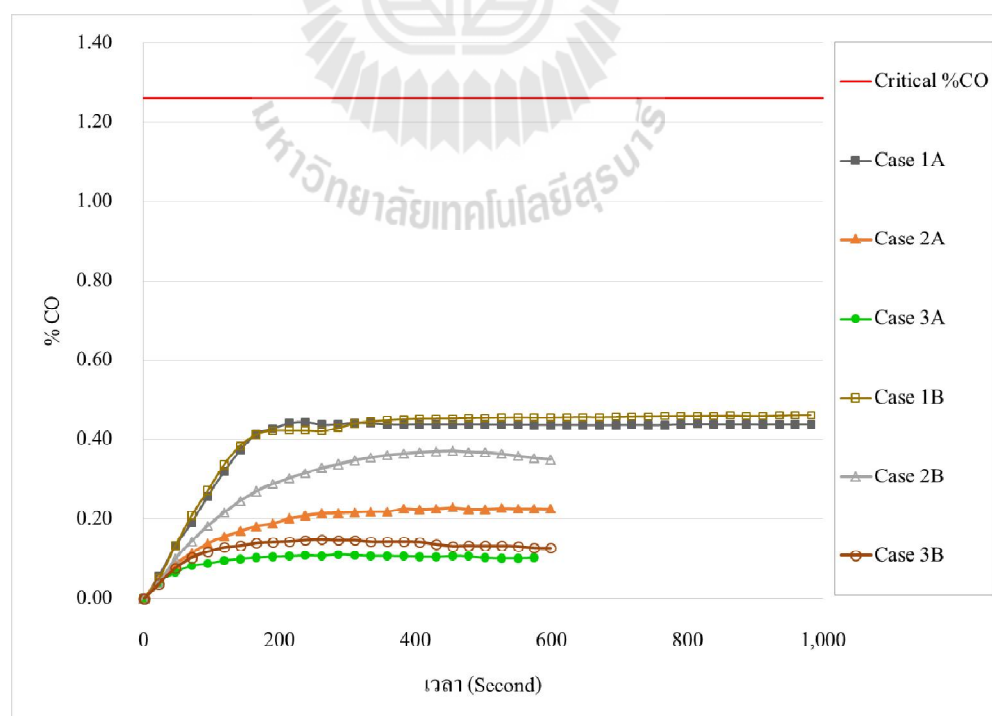
รูปที่ 4.2 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้ เมื่อเวลาใดๆ



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้ เมื่อเวลาใดๆ



รูปที่ 4.4 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้



รูปที่ 4.5 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารหลังการเผาไหม้

ตารางที่ 4.1 ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้กรณี 1A - 3A, 1B - 3B

ข้อมูลที่พิจารณา	ค่าที่พิจารณา	กรณี A			กรณี B		
		1A	2A	3A	1B	2B	3B
O ₂	Min.Value , %	11.24	15.61	18.26	10.17	12.30	17.42
	Time _{Min. value} , s	241.20	386.71	285.62	854.46	468.03	235.49
	Time _{ไฟดับ,16%} , s	84.00	230.44	N/A	73.25	114.00	N/A
	Time _{Critical,6%} , s	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
อุณหภูมิ	Max.Value , %	124.91	115.04	90.70	105.81	81.95	70.05
	Time _{Max value} , s	109.21	579.60	573.63	190.80	552.00	524.32
	Time _{Heat stoke,60c} , s	15.61	18.02	28.80	46.82	42.02	71.59
	Time _{Critical,127c} , s	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CO ₂	Max.Value , %	7.70	3.94	1.89	7.98	6.45	2.59
	Time _{Max value} , s	237.41	396.00	290.43	857.56	453.60	236.83
	Time _{Critical,5%} , s	104.40	N/A	N/A	99.61	189.62	N/A
CO	Max.Value , %	0.44	0.23	0.10	0.45	0.37	0.14
	Time _{Max value} , s	236.80	390.03	288.47	860.43	470.43	249.70
	Time _{Critical,1.26%} , s	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

จากผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารกรณี 1A ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 7.70) สูงเกินค่าสูงสุดที่ผู้โดยสารจะสามารถทนอยู่ได้ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร (สูงสุด 124 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เกิดสภาวะความร้อนฉุกเฉิน (Heat Stroke) เมื่อผู้โดยสารตกอยู่ในเหตุการณ์เพลิงไหม้ในห้องโดยสารที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 และอุณหภูมิสูงเกิน 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 10 นาทีขึ้นไป และเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ส่วนการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 0.44) และการลดลงของก๊าซออกซิเจน (ต่ำสุดร้อยละ 11.24) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้โดยสาร

ดังแสดงในรูปที่ 4.2-4.5 พบว่าเมื่อเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสาร ปฏิบัติการเผาไหม้จะมีการใช้ก๊าซออกซิเจนในอากาศเป็นก๊าซตั้งต้นในการเผาไหม้ ซึ่งปกติในอากาศจะมีก๊าซออกซิเจนอยู่โดยประมาณร้อยละ 21 เมื่อเกิดการเผาไหม้ ก๊าซออกซิเจนจึงถูกใช้และมีอัตราการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเข้าใกล้ความเข้มข้นร้อยละ 16 ของออกซิเจนในอากาศจะทำให้อัตราการเผาไหม้ถูกจำกัดให้ต่ำลง และเมื่อก๊าซออกซิเจนมีความเข้มข้นในอากาศต่ำกว่าร้อยละ 16 จะทำให้การเผาไหม้หยุดและเกิดการดับมอดไปของกองไฟดังในกรณีการเกิดเพลิงไหม้ในห้องโดยสารกรณี 1A เป็นกรณีที่ไม่มียellow smoke เกิดขึ้น ทำให้ไม่มีการถ่ายเทมวลอากาศและมวลออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปเติมในปฏิบัติการเผาไหม้ จึงทำให้ปฏิบัติการเผาไหม้ช้าลงหลังวินาทีที่ 84 เป็นต้นไป ดังจะสังเกตได้จากเส้นกราฟในรูปที่ 4.2 ที่มีค่าลดลงต่ำกว่าระดับร้อยละ 16 ของออกซิเจน จากนั้นปฏิกิริยาจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เหลือภายในห้องโดยสารและเผาไหม้ต่อไปได้ในระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลง ภายหลังวินาทีที่ 109 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารมีค่าสูงสุด (124 องศาเซลเซียส) และมีแนวโน้มลดลงหลังจากนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้เริ่มมีการมอดดับลง ทั้งนี้ยังสังเกตได้อีกว่าปริมาณสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความสัมพันธ์กับปริมาณสะสมของก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารดังเห็นได้จาก

1) กรณี 1A ระดับก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารลดต่ำสุด (ร้อยละ 11.24) ที่วินาทีที่ 241 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 7.70) ที่วินาทีที่ 237 และใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 0.44) ที่วินาทีที่ 236

2) กรณี 2A ระดับก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารลดต่ำสุด (ร้อยละ 15.61) ที่วินาทีที่ 386 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 3.97) ที่วินาทีที่ 396 และใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 0.23) ที่วินาทีที่ 390

3) กรณี 3A ระดับก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารลดต่ำสุด (ร้อยละ 18.26) ที่วินาทีที่ 285 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 1.89) ที่วินาทีที่ 290 และใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 0.10) ที่วินาทีที่ 288 เป็นต้น

ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 2A ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร (สูงสุด 115 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เกิดสภาวะร่างกายขาดน้ำเมื่อผู้โดยสารอยู่ในเหตุการณ์เพลิงไหม้ในห้องโดยสารเป็นระยะเวลา 10 นาทีขึ้นไป ส่วนการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 3.94) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 0.23) และการลดลงของก๊าซออกซิเจน (ต่ำสุดร้อยละ 15.61) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้โดยสาร เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 1A และ 2A พบว่าเมื่อทั้ง 2 กรณี ต้นเพลิงเกิดการลุกลามจากถังน้ำมันเข้าสู่ห้องโดยสาร กรณี 2A มีทางหนีไฟคือ ประตูฉุกเฉินด้านหลังห้องโดยสารซึ่งเป็นช่องเปิดสู่บรรยากาศ สามารถถ่ายเทความร้อน ถ่ายเทมวลก๊าซพิษและในขณะเดียวกันก็สามารถถ่ายเทอากาศใหม่เติมเข้าไปในห้องโดยสารได้ จะมีอัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยประมาณ 0.5 เท่าของกรณี 1A และมีอัตราการลดของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสารโดยประมาณ 0.5 เท่าของกรณี 1A และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารฯ พบว่ามีแนวโน้มสูงในช่วงแรกของการเผาไหม้จนเริ่มช้าลงเนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสารลดต่ำกว่าร้อยละ 16 ในวินาทีที่ 230 โดยประมาณ ทั้งนี้การถ่ายเทมวลอากาศและมวลออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปเติมในปฏิบัติการเผาไหม้ภายในห้องโดยสารฯ ผ่านประตูหนีไฟ (Emergency Door) ทำให้ในช่วงเวลาที่พิจารณานี้ปฏิบัติการการเผาไหม้เป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่มีการมอดดับและส่งผลให้อุณหภูมิสะสมภายในห้องโดยสารมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในอัตราที่ต่ำกว่าช่วงก่อน 230 วินาทีแรกที่มีก๊าซออกซิเจนสูงในปฏิบัติการเผาไหม้

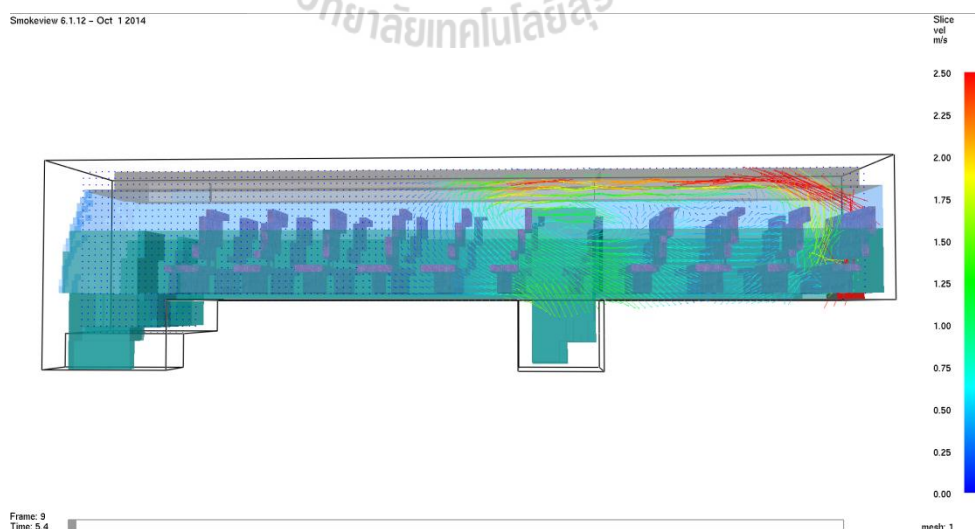
ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 3A พบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร (สูงสุด 90 องศาเซลเซียส) การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 1.89) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 0.10) และการลดลงของก๊าซออกซิเจน (ต่ำสุดร้อยละ 18.26) ทั้ง 4 ปัจจัยมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้โดยสารพฤติกรรมเพลิงไหม้โดยรวมของกรณี 3A ใกล้เคียงกับกรณี 2A มีช่องเปิดสู่บรรยากาศคือประตูรับส่งผู้โดยสารด้านหน้า-กลางห้องโดยสาร มีอัตราการเกิดรวมถึงการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องโดยสารเป็น 0.25 เท่าของกรณี 1A และ 0.5 เท่าของกรณี 2A อีกทั้งมีอัตราการลดลงของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสารเป็น 0.25 เท่าของกรณี 1A และ 0.5 เท่าของกรณี 2A อีกทั้งอุณหภูมิภายในห้องโดยสารกรณี 3A มีค่าโดยเฉลี่ย 90 องศา ซึ่งน้อยกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องโดยสารกรณี 1A และ

2A สาเหตุเนื่องจาก เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการถ่ายเทมวลและความร้อนจากภายในห้อง โดยสารสู่ภายนอกแล้ว กรณี 3A มีพื้นที่เปิดสู่ภายนอกมากกว่ากรณี 2A และ 1A จึงถ่ายเทมวลของอากาศเสียและอุณหภูมิออกจากห้องโดยสารได้มากกว่า ทั้งนี้การถ่ายเทมวลอากาศยังส่งผลต่อ ปฏิบัติการเผาไหม้กรณี 3A .ให้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับกรณี 2A ไม่มีการตัดปฏิบัติการเผาไหม้เนื่องจากมีก๊าซออกซิเจนเติมเข้าไปในปฏิกิริยาอยู่เสมอ

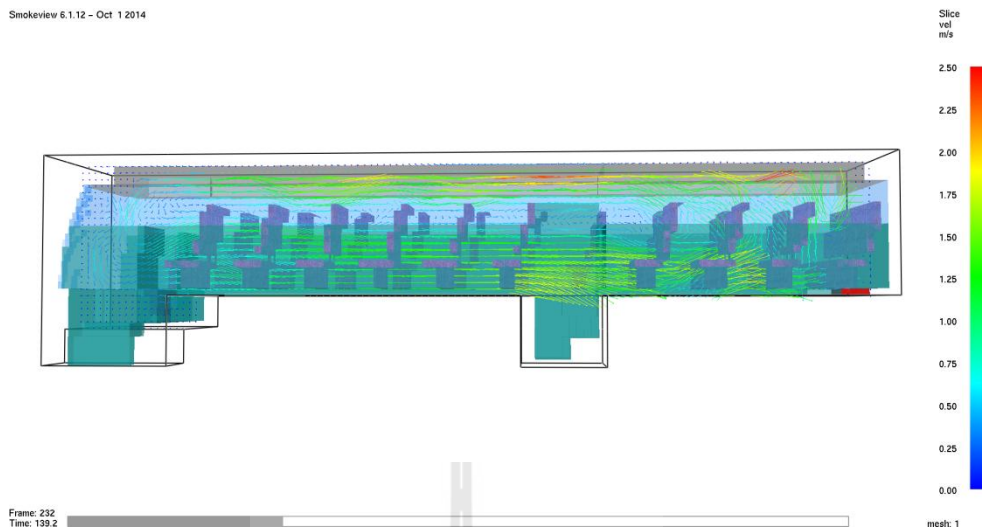
4.2 การทำนายพฤติกรรมของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 1B-3B

การทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ ในกรณี 1B ต้นเพลิงเริ่มมีการลุกลามผ่านห้องเครื่องยนต์เข้าสู่ห้องโดยสารจากทางด้านหลังและไม่มีช่องทางหนีไฟ ซึ่งเกิดได้ในหลายรูปแบบเช่นในกรณีที่ประตูฉุกเฉิน (Emergency Door) ไม่สามารถเปิดใช้งานได้ ประตูห้องโดยสารไม่สามารถเปิดใช้งานได้ หรือประตูฉุกเฉินและประตูห้องโดยสารไม่สามารถเปิดใช้งานได้ทันเวลา

การแสดงผลในรูปที่ 4.6-4.7 พบว่าเวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศที่ระนาบกลางห้องโดยสารกรณี 1Bเกิดการม้วนตัวของอากาศจากด้านหลังไปด้านหน้าห้องโดยสาร และมีความปั่นป่วนของอากาศภายในห้องโดยสารมากกว่ากรณี 1A เนื่องจากตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้มีแก๊สผู้โดยสารเป็นวัตถุของการไหลส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของอากาศภายในมากกว่าซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับพฤติกรรมกระจายควัน การกระจายอุณหภูมิ การกระจายก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสาร ซึ่งมีความปั่นป่วนไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.7 พฤติกรรมความเร็วและเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของอากาศ กรณี 1B วินาทีที่ 5.4



รูปที่ 4.8 พฤติกรรมความเร็วและเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของอากาศ กรณี 1B วินาทีที่ 140

จากผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 1B ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 7.98) มีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่ผู้โดยสารจะสามารถทนอยู่ได้ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร (สูงสุด 105 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เกิดสภาวะร่างกายสูญเสียน้ำเมื่อผู้โดยสารอยู่ในเหตุการณ์เพลิงไหม้ในห้องโดยสารเป็นระยะเวลา 10 นาทีขึ้นไป ส่วนการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 0.45) และการลดลงของก๊าซออกซิเจน (ต่ำสุดร้อยละ 11.17) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้โดยสาร เมื่อพิจารณาผลการจำลองกรณี 1A และ 1B ซึ่งทั้ง 2 กรณีเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสารฯ ที่ไม่มีช่องทางหนีไฟเปิดสู่บรรยากาศภายนอกจึงไม่มีการถ่ายเทมวลอากาศและมวลออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปเติมในปฏิกิริยาการเผาไหม้เช่นเดียวกันได้ผลจากการคำนวณโดยรวมแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยในกรณี 1B จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนนอกไซด์สะสมภายในห้องโดยสารมากกว่ากรณี 1A เนื่องจากความปั่นป่วนของอากาศที่เกิดขึ้นเพราะมีวัตถุขวางการไหลเช่น เก้าอี้ที่นั่งผู้โดยสารในบริเวณใกล้กับจุดเกิดเพลิงไหม้ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและก๊าซจากการเผาไหม้ระบายสู่อากาศรอบข้างภายในห้องโดยสารทำได้ช้าลง เมื่อความร้อนรวมถึงมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนนอกไซด์สะสมอยู่ในบริเวณโดยรอบการเผาไหม้ก็ยังไม่มีการเติมอากาศเข้าไปในปฏิกิริยา จึงทำให้การเผาไหม้ในกรณี 1B ต่ำกว่ากรณี 1A ดังจะเห็นว่าค่าของอุณหภูมิภายในห้องโดยสารกรณี 1B ในช่วงแรกจนถึงจุดแรงสุดของการเผาไหม้มีค่าต่ำกว่ากรณี 1A อยู่ถึง 20 องศาเซลเซียสโดยประมาณด้วยเหตุที่อุณหภูมิในการเผาไหม้ที่ต่ำกว่านี้ ทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ต่ำกว่าทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนนอกไซด์มากกว่ากรณี 1A

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในห้องโดยสารกรณี 1B ซ้ำลงในวินาทีที่ 73 เป็นต้นไปเนื่องจากระดับก๊าซออกซิเจนสะสมภายในห้องโดยสารมีค่าลดลงต่ำกว่าร้อยละ 16 จากเส้นกราฟในรูปที่ 4.2 จากนั้นปฏิกิริยาจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เหลือภายในห้องโดยสารและเผาไหม้ต่อไปได้ในระยะเวลาหนึ่งก่อนที่ปฏิกิริยาจะเริ่มดับลง ภายหลังจากวินาทีที่ 190 และพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารมีค่าสูงสุด (105 องศาเซลเซียส) และมีแนวโน้มลดลงหลังจากนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้เริ่มมีการมอดดับลง

ทั้งนี้ปริมาณสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 - 4.5 มีความสัมพันธ์กับปริมาณสะสมของก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารดังนี้

1) กรณี 1B ระดับก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารลดต่ำสุด (ร้อยละ 10.17) ที่วินาทีที่ 854 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 7.98) ที่วินาทีที่ 857 และใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 0.45) ที่วินาทีที่ 860

2) กรณี 2B ระดับก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารลดต่ำสุด (ร้อยละ 12.30) ที่วินาทีที่ 468 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 6.45) ที่วินาทีที่ 453 และใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 0.37) ที่วินาทีที่ 470

3) กรณี 3B ระดับก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสารลดต่ำสุด (ร้อยละ 17.42) ที่วินาทีที่ 235 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 2.59) ที่วินาทีที่ 236 และใกล้เคียงกับเวลาที่ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงสุด (ร้อยละ 0.14) ที่วินาทีที่ 249 เป็นต้น

ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 2B ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 6.45) มีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่ผู้โดยสารจะสามารถทนอยู่ได้ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร (สูงสุด 81 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เกิดสภาวะร่างกายสูญเสียน้ำเมื่อผู้โดยสารอยู่ในเหตุการณ์เพลิงไหม้ในห้องโดยสารเป็นระยะเวลา 10 นาทีขึ้นไป ส่วนการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 0.37) และการลดลงของก๊าซออกซิเจน (ต่ำสุดร้อยละ 12.30) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้โดยสาร อีกทั้งพบว่าอัตราการเกิดและการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารฯ ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณี 1B และอัตราการลดลงของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสารต่ำกว่ากรณี 1B เนื่องจากกรณี 2B มีทางหนีไฟคือประตูฉุกเฉินด้านหลังห้องโดยสารซึ่งเป็นช่องเปิดสู่บรรยากาศ สามารถถ่ายเทความร้อน ถ่ายเทมวลก๊าซพิษที่เกิดจากการเผาไหม้และในขณะเดียวกันก็สามารถถ่ายเทอากาศ

ใหม่จากภายนอกเดิมเข้าไปในห้องโดยสารเพื่อเป็นก๊าซตั้งต้นที่ใช้ในการเผาไหม้ให้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องได้

ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 3B พบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร (สูงสุด 70 องศาเซลเซียส) การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 2.59) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (สูงสุดร้อยละ 0.14) และการลดลงของก๊าซออกซิเจน (ต่ำสุดร้อยละ 17.42) ทั้ง 4 ปัจจัยมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้โดยสาร พฤติกรรมเพลิงไหม้โดยรวมของกรณี 3B ใกล้เคียงกับกรณี 2B มีอัตราการเกิดรวมถึงการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในห้องโดยสารน้อยที่สุด คิดเป็น 0.32 เท่าของกรณี 1B และ 0.4 เท่าของกรณี 2B โดยประมาณ อีกทั้งมีอัตราการลดลงของก๊าซออกซิเจนในห้องโดยสารต่ำที่สุด คิดเป็น 0.32 เท่าของกรณี 1B และ 0.4 เท่าของกรณี 2B อีกทั้งอุณหภูมิภายในห้องโดยสารกรณี 3B มีค่าโดยเฉลี่ย 70 องศา ซึ่งน้อยกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องโดยสารกรณี 1B และ 2B สาเหตุเนื่องจาก เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการถ่ายเทมวลและความร้อนจากภายในห้องโดยสารสู่ภายนอกแล้ว กรณี 3B มีพื้นที่เปิดสู่ภายนอกมากกว่ากรณี 2B และ 1B จึงถ่ายเทมวลของอากาศเสียและความร้อนออกจากห้องโดยสารได้มากกว่า ทั้งนี้การถ่ายเทมวลอากาศยังส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้กรณี 3B ให้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับกรณี 2B ไม่มีการดับปฏิกิริยาการเผาไหม้เนื่องจากมีก๊าซออกซิเจนเดิมเข้าไปในปฏิกิริยาอยู่เสมอ

4.3 การวิเคราะห์กรณีวิกฤติของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 1A - 3A , 1B - 3B

การวิเคราะห์กรณีวิกฤติจากการจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 - 4.5 พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์มีค่าอยู่ในขีดจำกัดที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้โดยสารเมื่อเกิดเพลิงไหม้ทั้งในกรณี A และกรณี B แต่มีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินขีดจำกัดที่มนุษย์สามารถรับได้ทั้งสิ้น 3 กรณีคือ กรณี 1A, 1B และ 2B และยังพบว่าระดับอุณหภูมิภายในห้องโดยสารทั้งหมด 6 กรณีจะทำให้มนุษย์เกิดภาวะอุณหภูมิฉุกเฉินหรือ Heat Stroke หากผู้โดยสารไม่สามารถอพยพออกจากห้องโดยสารได้ทันภายใน 10 นาทีหลังจากเข้าสู่สภาวะนี้ ผู้โดยสารจะมีอาการร่างกายสูญเสียน้ำและอุณหภูมิในร่างกายสูงต่อเนื่องจนถึงแก่ชีวิตในที่สุด

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์กรณีวิกฤติของเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ

กรณี	ปัจจัยที่วิกฤติ	ค่าวิกฤติ	เวลาเริ่มต้น(s)	ระยะปลอดภัยสูงสุด(s)	ค่าระยะปลอดภัยสูงสุด
1A	CO ₂	5.00%	104.40	104.40 + 180 = 284.40	7.41 %
1B	CO ₂	5.00%	99.61	99.61 + 180 = 279.61	7.40 %
2B	CO ₂	5.00%	189.62	189.62 + 180 = 369.62	6.32 %
1A	T _{Heat Stroke}	60°C	15.61	10 min 15.61 s	-
2A	T _{Heat Stroke}	60°C	18.02	10 min 18.02 s	-
3A	T _{Heat Stroke}	60°C	28.80	10 min 28.80 s	-
1B	T _{Heat Stroke}	60°C	46.82	10 min 46.82 s	-
2B	T _{Heat Stroke}	60°C	42.02	10 min 42.02 s	-
3B	T _{Heat Stroke}	60°C	71.59	10 min 71.59 s	-

เมื่อนำผลการวิเคราะห์กรณีวิกฤติดังที่กล่าวข้างต้น อันเกิดจากวิกฤติระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิฉุกเฉินมาวิเคราะห์หาระยะเวลาสูงสุดที่มนุษย์สามารถอาศัยอยู่ในห้องโดยสารขณะเกิดเพลิงไหม้ได้ โดยไม่เป็นอันตราย ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า

1) เมื่อเปรียบเทียบกรณีวิกฤติอันเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีระยะความปลอดภัย (สูงสุด) ที่มนุษย์จะใช้ในการอพยพหนีไฟออกจากห้องโดยสารได้น้อยกว่ากรณีวิกฤติอันเกิดจากอุณหภูมิฉุกเฉินถึง 2 เท่า

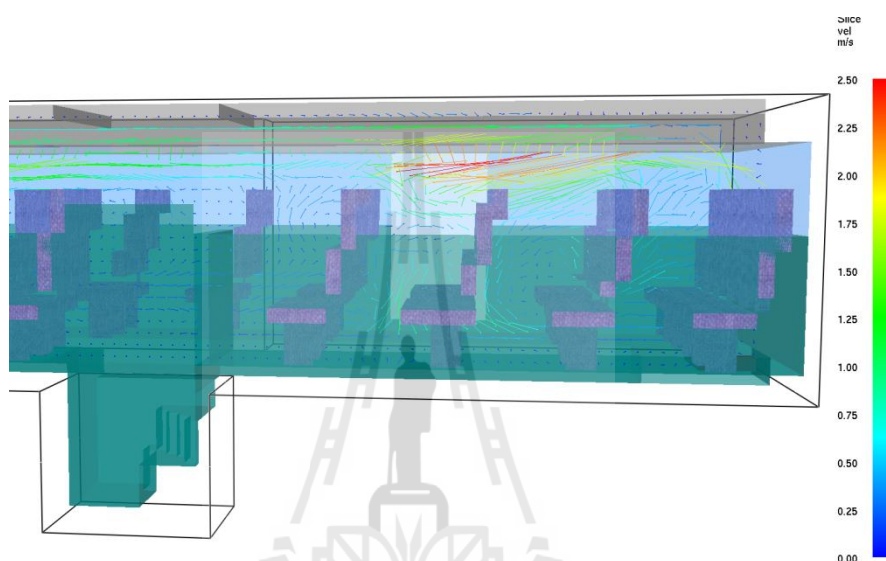
2) เมื่อเปรียบเทียบกรณีวิกฤติอันเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 3 กรณี

กรณี 1A : ตั้งเงื่อนไขเริ่มต้นของกรณี 1A ไว้เป็นแบบไม่มีช่องทางหนีไฟ จึงไม่ทำการออกแบบหรือปรับปรุงใดๆกับกรณีนี้

กรณี 1B : ตั้งเงื่อนไขเริ่มต้นของกรณี 1B ไว้เป็นแบบไม่มีช่องทางหนีไฟ จึงไม่ทำการออกแบบหรือปรับปรุงใดๆกับกรณีนี้

กรณี 2B : ตั้งเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นแบบมีประตูหนีไฟ และผลการจำลองมีระยะความปลอดภัยสูงสุด 369 วินาที (CO₂ สูงสุดร้อยละ 6.45) และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณี 2A ซึ่งมีเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นแบบมีประตูหนีไฟเช่นเดียวกันพบว่ากรณี 2A มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่เกินขีดจำกัดและไม่เป็นกรณีวิกฤติ (CO₂ สูงสุดร้อยละ 3.94) ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของตำแหน่งต้นเพลิง ระยะห่างที่เหมาะสมจากต้นเพลิงไปยังประตูหนีไฟ และพฤติกรรมความเร็วและเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องโดยสาร ดังแสดงในรูปที่ 4.8

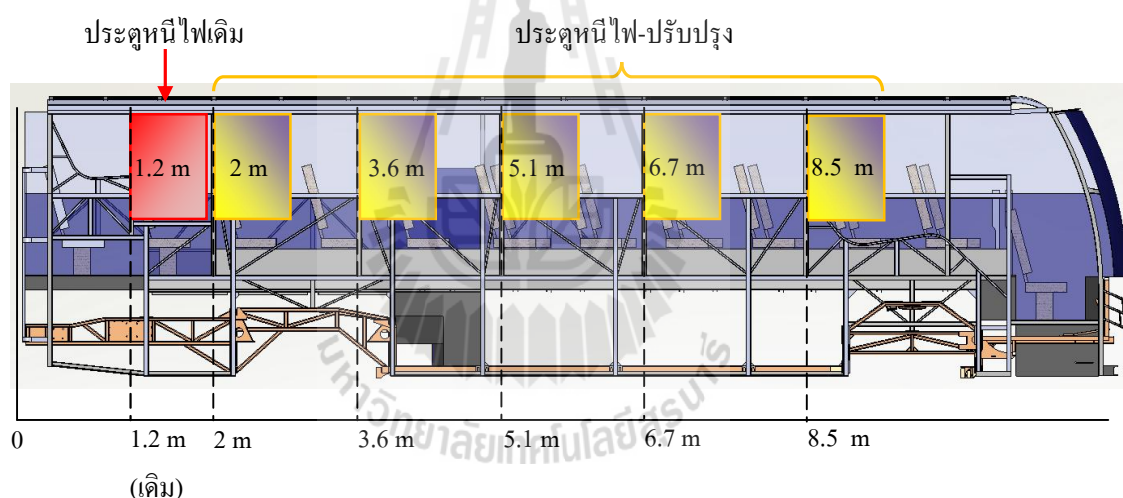
ดังนั้นการปรับปรุงตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งประตุนิไฟจะช่วยให้พฤติกรรมความเร็วและเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องโดยสารทำได้ดีขึ้น มีการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากห้องโดยสารได้ดีขึ้น และจะส่งผลให้ยักระยะปลอดภัยสูงสุดของกรณี 2B ให้สูงมากขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มโอกาสในการอพยพผู้โดยสารออกจากห้องโดยสารที่เกิดเพลิงไหม้ได้อีกด้วย



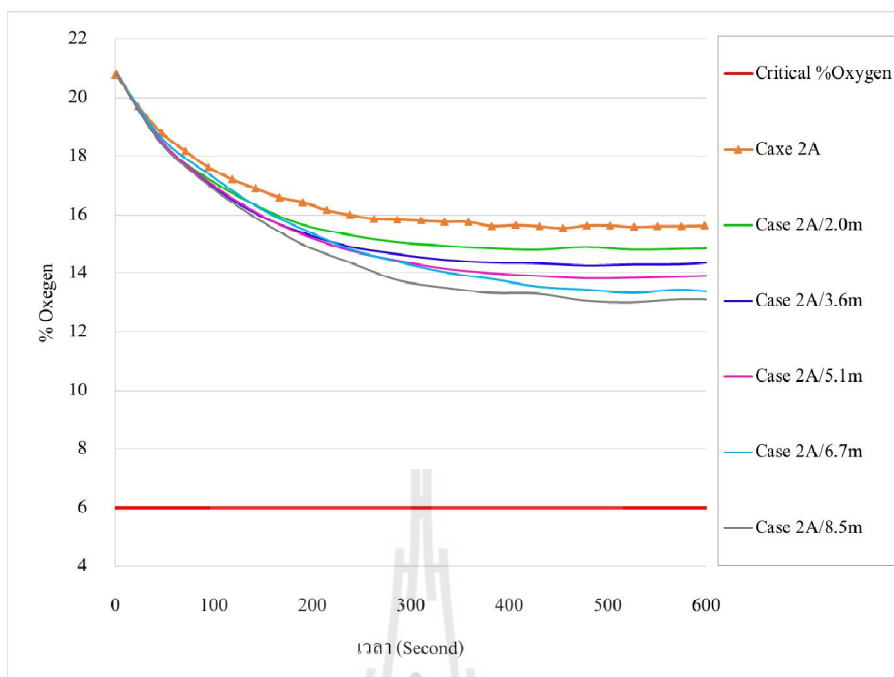
รูปที่ 4.8 พฤติกรรมความเร็วและเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของอากาศส่วนท้ายห้องโดยสารกรณี 2B

4.4 การปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตุนิไฟ

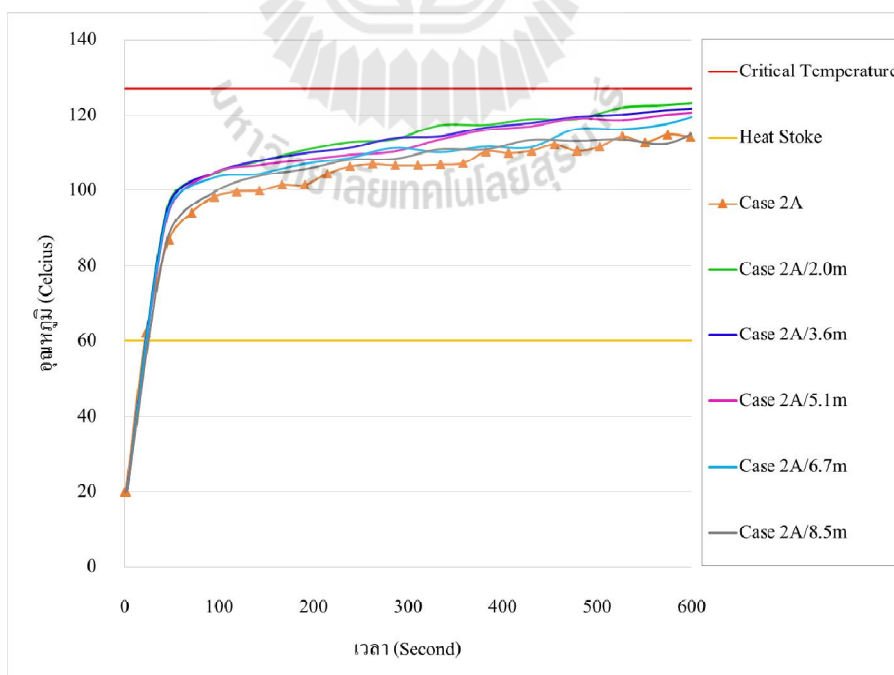
ในการปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตุนิไฟ จะอ้างอิงตามโครงสร้างรถโดยสารปรับอากาศเดิม เพื่อลดความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่สถานประกอบการมีอยู่และไม่ให้กระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของรถโดยสารที่สถานประกอบการได้มีการขอจดทะเบียนในการออกแบบและจัดประกอบอยู่เดิม จากรูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งในการทดลองติดตั้งประตุนิไฟใหม่จำนวน 5 ตำแหน่ง ซึ่งเดิมประตุนิไฟติดตั้งในตำแหน่ง 1.2 เมตร และเปลี่ยนตำแหน่งเป็น 2.0 เมตร, 3.6 เมตร, 5.1 เมตร, 6.7 เมตร และ 8.5 เมตรตามลำดับ โดยอ้างอิงจากระยะท้ายสุดของรถโดยสาร จากนั้นจำลองและแสดงผลการจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ในกรณี 2A และกรณี 2B ที่ตำแหน่งประตุนิไฟแตกต่างกันไปทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ด้วยเงื่อนไขการตั้งค่าวัสดุและการเผาไหม้ในโปรแกรม FDS แบบเดิม เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดที่จะใช้เป็นตำแหน่งติดตั้งประตุนิไฟที่จะช่วยยืดระยะเวลาในการอพยพได้นานขึ้น



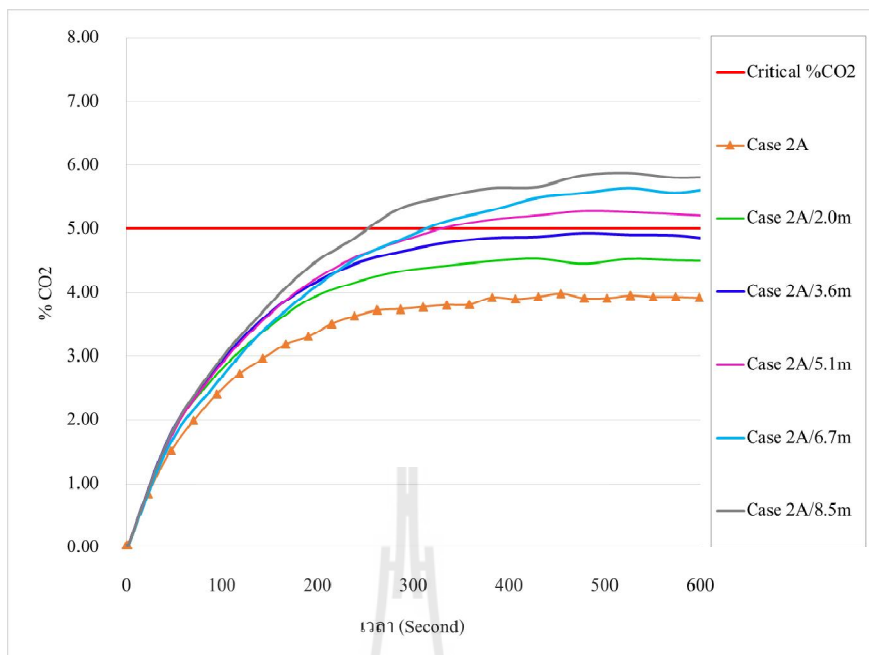
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งในการทดลองติดตั้งประตุนิไฟใหม่ จำนวน 5 ตำแหน่ง



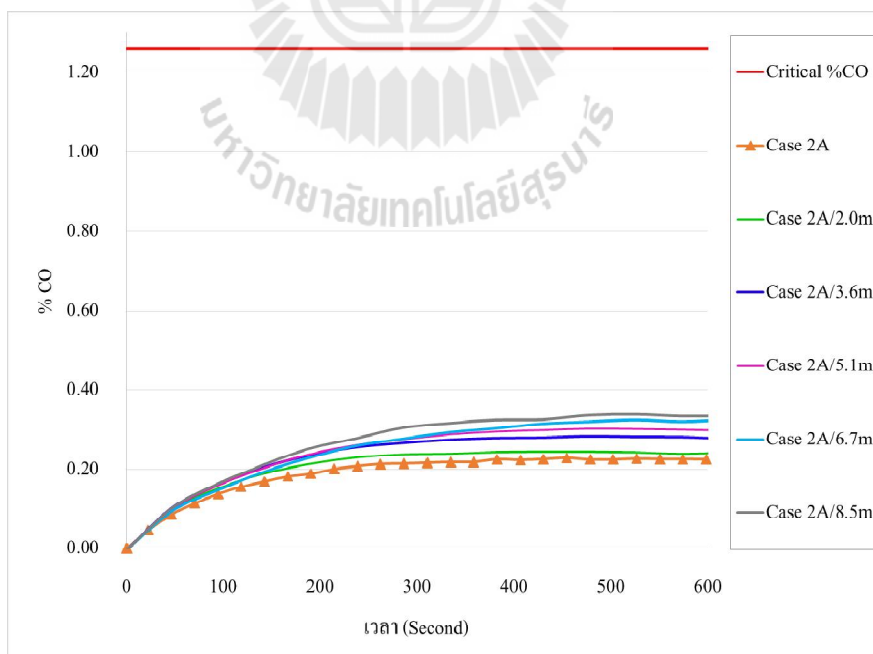
รูปที่ 4.10 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตูหนีไฟ กรณี 2A



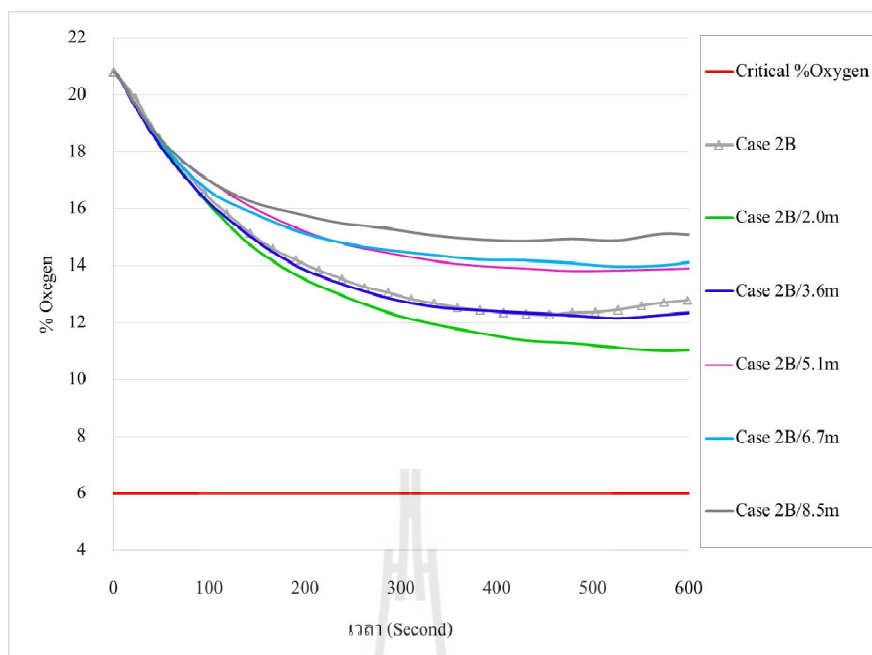
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตูหนีไฟ กรณี 2A



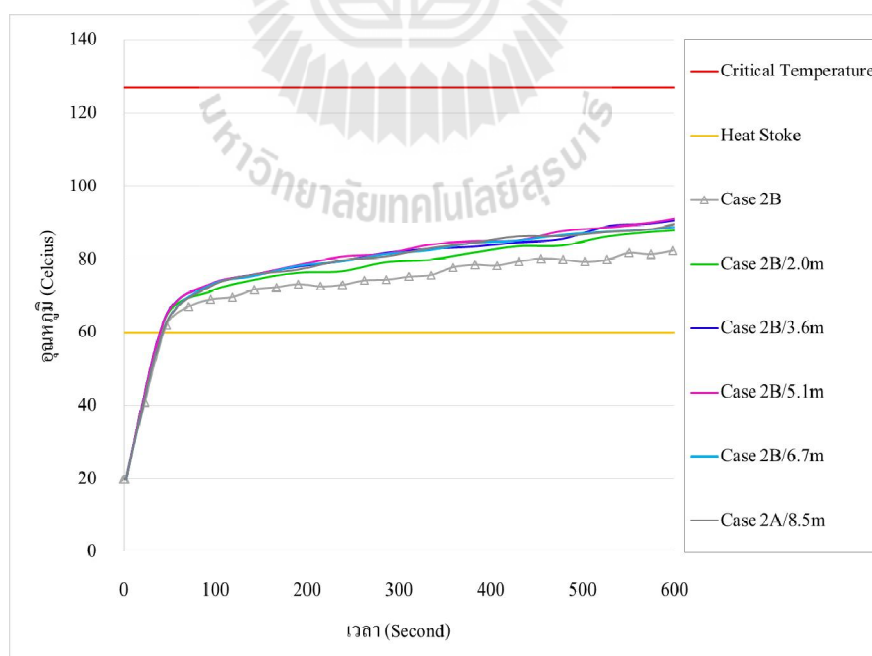
รูปที่ 4.12 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร
หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตูหนีไฟ กรณี 2A



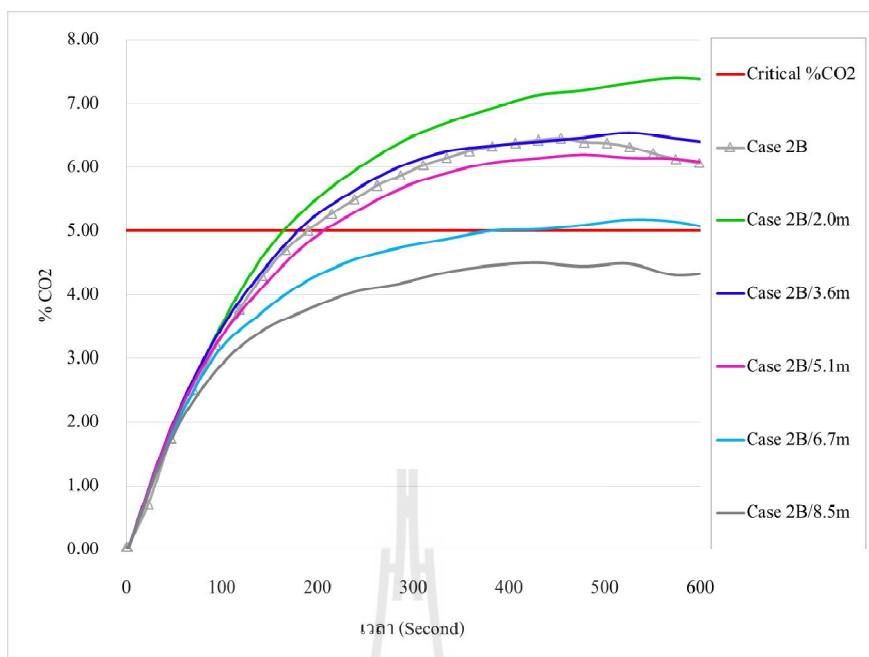
รูปที่ 4.13 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องโดยสาร
หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตูหนีไฟ กรณี 2A



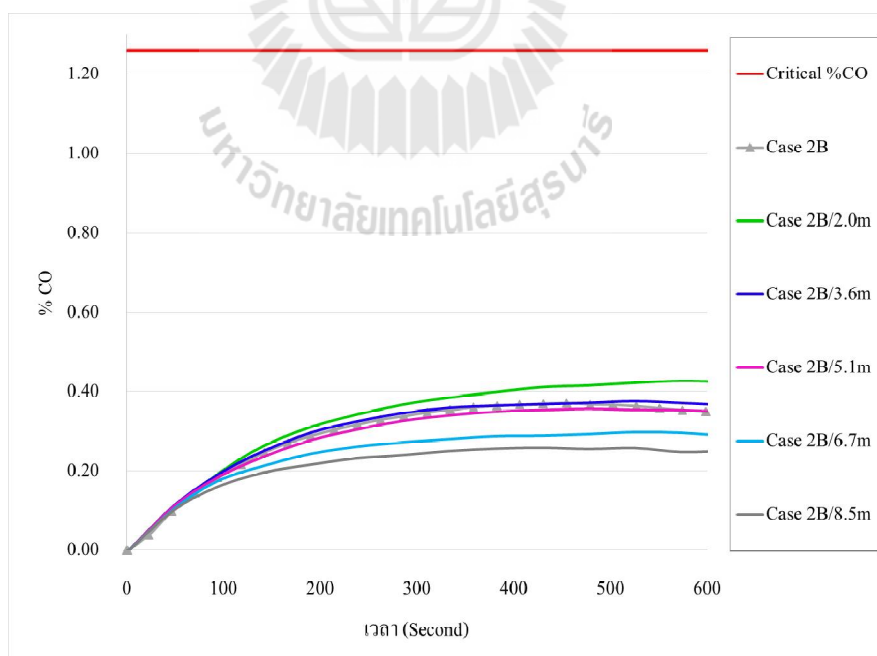
รูปที่ 4.14 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซออกซิเจนภายในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่ง ประตุนิไฟ กรณี 2B



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารหลังการปรับปรุงตำแหน่งประตุนิไฟ กรณี 2B



รูปที่ 4.16 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตูหนีไฟ กรณี 2B



รูปที่ 4.17 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุงตำแหน่งประตูหนีไฟ กรณี 2B

ผลการทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ กรณี 2A และ 2B ดังแสดงในรูปที่ 4.10 - 4.13 และ 4.14 - 4.17 ตามลำดับ เมื่อปรับตำแหน่งติดตั้งประตุนิไฟแตกต่างกัน 5 ตำแหน่งดังรูปที่ 4.9 พบการสะสมก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และการลดลงของก๊าซออกซิเจนจากการเกิดเพลิงไหม้โดยรวมทุกกรณีมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้โดยสาร ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสารมีค่าสูงเกินพิกัดสภาวะความร้อนฉุกเฉิน (Heat Stroke) เมื่อผู้โดยสารไม่สามารถอพยพออกนอกห้องโดยสารได้ภายในระยะเวลา 10 นาทีภายหลังระดับความความร้อนภายในห้องโดยสารมีค่าสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตผู้โดยสาร

เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมภายในห้องโดยสารซึ่งถือเป็นจุดมุ่งหมายหลักจากการทำนายพฤติกรรมการเกิดเพลิงไหม้ฯกรณี 2B ที่ต้องการปรับให้มีค่าความเข้มข้นสะสมให้ต่ำกว่าค่าวิกฤติโดยการปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตุนิไฟใหม่จำนวน 5 ตำแหน่ง เพื่อหาจุดที่ดีและเหมาะสมที่สุดจากนั้นนำผลการทำนายหลังปรับปรุงมาเปรียบเทียบกับผลทำนายก่อนการปรับปรุงฯ พบว่าจากกรณี 2B ก่อนการปรับปรุงมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 6.45 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าวิกฤติ เมื่อเลื่อนตำแหน่งในการติดตั้งประตุนิไฟห่างออกไปในตำแหน่ง 2.0 เมตร, 3.6 เมตร, 5.1 เมตร, 6.7 เมตรและ 8.5 เมตรพบว่าม้อัตรการเกิดและการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารที่ต่ำลง อัตราการสะสมต่ำที่สุดและดีที่สุด เมื่อเลื่อนไปห่างจากจุดเกิดเพลิงไหม้มากที่สุด (8.5 เมตร) แต่ตำแหน่งการติดตั้งประตุนิไฟ 8.5 เมตรซึ่งดีที่สุดในกรณี 2B กลับเป็นตำแหน่งที่มีอัตราการเกิดและการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารสูงที่สุดและแย่ที่สุดในกรณี 2A ซึ่งมีแนวโน้มของการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในทิศทางแปรผกผันกับกรณี 2A ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสาร หลังการปรับปรุง

ตำแหน่งประตุนิไฟกรณี 2A และ 2B

กรณี	ร้อยละ CO ₂ สะสมในห้องโดยสาร					
	ตำแหน่งเดิม	2.0m	3.6 m	5.1 m	6.7 m	8.5 m
2A	3.94	4.53	4.93	5.25	5.56	5.80
2B	6.45	7.40	6.53	6.14	5.14	4.44

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 พบว่าไม่มีตำแหน่งติดตั้งประตุนิไฟใดที่ทำให้การสะสมและการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารต่ำกว่าค่าวิกฤติตามจุดมุ่งหมายหลักของกรณี

2B แต่เพื่อหาตำแหน่งที่จะช่วยยี่ระยะปลอดภัยในการอพยพของผู้โดยสารให้ได้มากที่สุด จึงพิจารณาผลต่างที่น้อยที่สุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบกับค่าวิกฤติ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

1) กรณีประตุนีไฟ 8.5 m มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถูกลามจากห้องเครื่อง (กรณี 2B) ต่ำกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 0.56 แต่พบว่าการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถังน้ำมัน (กรณี 2A) ที่สูงกว่าค่าวิกฤติถึงร้อยละ 0.8

$$\therefore \%CO_2^{\text{เกินค่าวิกฤติ, 8.5m}} = \text{ร้อยละ } 0.8$$

2) กรณีประตุนีไฟ 6.7m มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถูกลามจากห้องเครื่อง (กรณี 2B) สูงกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 0.14 และมีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถังน้ำมัน (กรณี 2A) ที่สูงกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 0.56

$$\therefore \%CO_2^{\text{เกินค่าวิกฤติ, 6.7m}} = \text{ร้อยละ } 0.7$$

3. กรณีประตุนีไฟ 5.1m มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถูกลามจากห้องเครื่อง (กรณี 2B) สูงกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 1.14 และมีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถังน้ำมัน (กรณี 2A) ที่สูงกว่าค่าวิกฤติเพียงร้อยละ 0.25

$$\therefore \%CO_2^{\text{เกินค่าวิกฤติ, 5.1m}} = \text{ร้อยละ } 1.39$$

4. กรณีประตุนีไฟ 3.6m มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถูกลามจากห้องเครื่อง (กรณี 2B) สูงกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 1.53 และมีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถังน้ำมัน (กรณี 2A) ต่ำกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 0.07

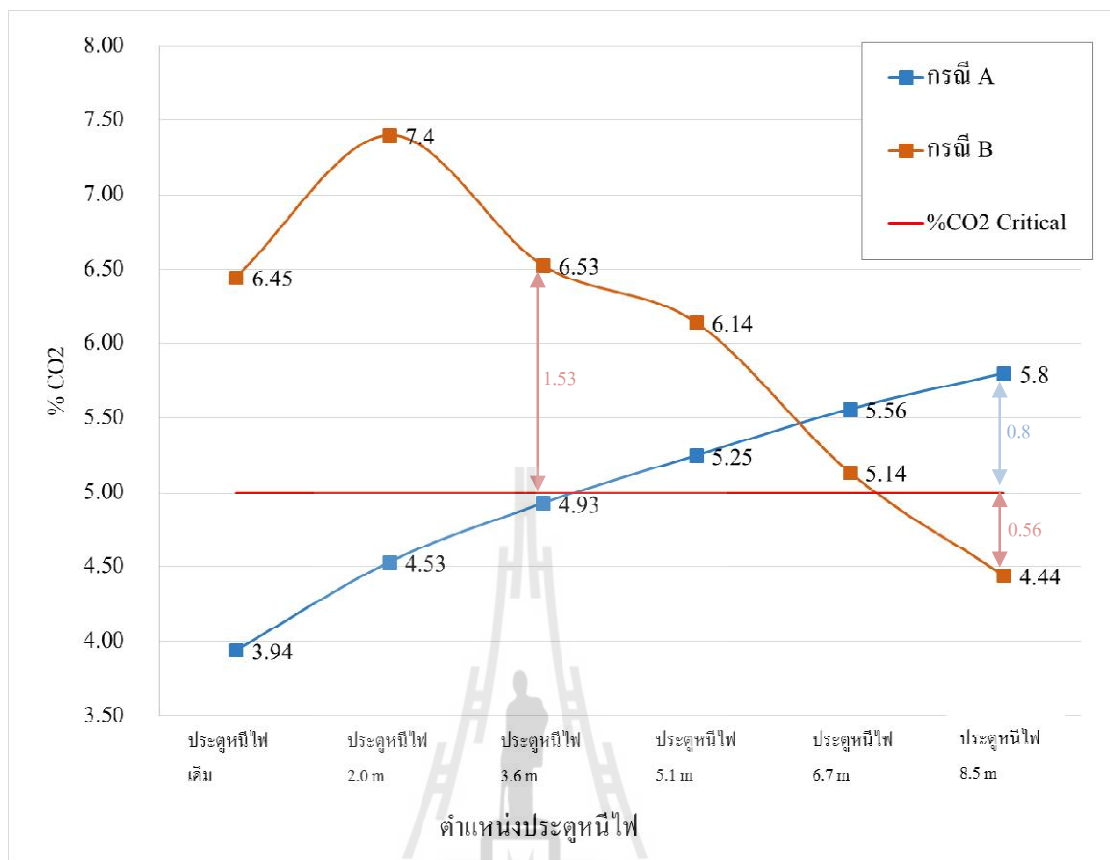
$$\therefore \%CO_2^{\text{เกินค่าวิกฤติ, 3.6m}} = \text{ร้อยละ } 1.53$$

5. กรณีประตุนีไฟ 2.0m มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถูกลามจากห้องเครื่อง (กรณี 2B) สูงกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 2.40 และมีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถังน้ำมัน (กรณี 2A) ต่ำกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 0.47

$$\therefore \%CO_2^{\text{เกินค่าวิกฤติ, 2.0m}} = \text{ร้อยละ } 2.40$$

6. กรณีประตุนีไฟเดิมก่อนการปรับปรุง มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถูกลามจากห้องเครื่อง (กรณี 2B) สูงกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 1.45 และมีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ที่ถังน้ำมัน (กรณี 2A) ต่ำกว่าค่าวิกฤติร้อยละ 1.06

$$\therefore \%CO_2^{\text{เกินค่าวิกฤติ, ก่อนปรับปรุง}} = \text{ร้อยละ } 1.45$$



รูปที่ 4.18 ปริมาณเข้มข้นสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องโดยสารเมื่อปรับตำแหน่งการติดตั้งประตูหนีไฟ กรณี 2A และ 2B

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ทั้ง 5 กรณีที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟใหม่ และผลเดิมก่อนการปรับปรุงฯ มาพิจารณาการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารที่สูงเกินค่าวิกฤติ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \%CO_2_{\text{เกินค่าวิกฤติ, 2.0 m}} &> \%CO_2_{\text{เกินค่าวิกฤติ, ก่อนปรับปรุง 1.2 m}} > \%CO_2_{\text{เกินค่าวิกฤติ, 3.6 m}} > \%CO_2_{\text{เกินค่าวิกฤติ, 5.1 m}} \\ &> \%CO_2_{\text{เกินค่าวิกฤติ, 8.5 m}} > \%CO_2_{\text{เกินค่าวิกฤติ, 6.7 m}} \end{aligned}$$

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ รุ่น Intercity Bus ชั้นครึ่ง จำนวนเบาะที่นั่งรวม 44 ที่นั่ง โดยจำลองตำแหน่งต้นเพลิง 2 ตำแหน่งคือ ถังน้ำมัน ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง (กรณี A) และห้องเครื่องท้ายห้องโดยสาร (กรณี B) ตำแหน่งช่องทางหนีไฟ 3 ตำแหน่งคือ ประตูทางเข้าด้านหน้าและประตูทางเข้าด้านหลัง และประตูหนีไฟ รวมกรณีศึกษาทั้งสิ้น 6 กรณี

การจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม FDS. ร่วมกับ Smoke View กำหนดให้อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน $2,205 \text{ kW/m}^2$ ขนาดของกริดในช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง 0.05 เมตร และขนาดของกริดในเทอมของตัวแปรไร้หน่วย (R^*) เท่ากับ 0.044 ผลกรณีศึกษาพบว่าเวกเตอร์ความเร็วและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องโดยสารระหว่างเกิดเพลิงไหม้ฯ มีผลต่อพฤติกรรมการกระจายควัน การกระจายอุณหภูมิ การกระจายก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องโดยสารซึ่งจะมีแนวโน้มของผลจำลองไปในทิศทางเดียวกัน

ผลสรุปพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ ในปัจจุบัน

จากการจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ ในปัจจุบัน (ก่อนการปรับปรุง) พบว่า

1) ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นและสะสมภายในห้องโดยสารระหว่างเกิดเพลิงไหม้ฯ มีค่าอยู่ในขีดจำกัดที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้โดยสาร ทั้งในกรณี A และกรณี B แต่มีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินขีดจำกัดที่มนุษย์สามารถรับได้ทั้งสิ้น 3 กรณีคือ กรณี 1A, 1B และ 2B และพบระดับอุณหภูมิภายในห้องโดยสารที่ทำให้มนุษย์เกิดภาวะอุณหภูมิฉุกเฉินหรือ Heat Stroke ทั้งหมด 6 กรณี

2) กรณีวิกฤติจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีระยะเวลาปลอดภัย (สูงสุด) ที่มนุษย์จะใช้ในการอพยพหนีไฟออกจากห้องโดยสารได้ น้อยกว่ากรณีวิกฤติอันเกิดจากอุณหภูมิฉุกเฉินถึง 2 เท่า

3) กรณีวิกฤติอันเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรณี 2B มีผลการจำลองระยะปลอดภัยสูงสุด 369 วินาที (CO_2 สูงสุดร้อยละ 6.45) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี 2A ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินขีดจำกัดและไม่เป็นกรณีวิกฤติ (CO_2 สูงสุดร้อยละ 3.94) ดังนั้นจึงพอ

สรุปในเบื้องต้นได้ว่า ตำแหน่งต้นเพลิงที่แตกต่างกัน (กรณี A และกรณี B) และระยะห่างระหว่างต้นเพลิงไปยังประตูหนีไฟ เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องโดยสาร การระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากห้องโดยสาร ดังนั้นการปรับปรุงตำแหน่งในการติดตั้งประตูหนีไฟให้มีความเหมาะสม จะช่วยลดวิกฤติอันเกิดจากการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารในกรณี 2B ให้ดีขึ้นได้

ผลสรุปพฤติกรรมเพลิงไหม้ในห้องโดยสารฯ หลังการปรับปรุง

ประตูหนีไฟของรถโดยสารปรับอากาศ ปัจจุบันถูกติดตั้งในตำแหน่ง 1.2 เมตร วัดจากระยะท้ายสุดของรถโดยสาร จำลองเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งใหม่ทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง ได้แก่ 2.0 เมตร, 3.6 เมตร, 5.1 เมตร, 6.7 เมตร และ 8.5 เมตรตามลำดับ เมื่อจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ฯ ที่มีต้นเพลิงแตกต่างกัน 2 กรณี คือ กรณี 2A และกรณี 2B รวมทั้งสิ้น 10 กรณี ได้ผลสรุปดังนี้

1) การสะสมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และการลดลงของก๊าซออกซิเจนจากการเกิดเพลิงไหม้ โดยรวมทุกกรณีมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้โดยสาร

2) ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องโดยสาร โดยรวมทุกกรณีมีค่าสูงเกินพิกัดสภาวะความร้อนฉุกเฉิน (Heat Stroke) ที่มนุษย์จะสามารถทนได้

3) การจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้กรณี 2B (กรณีปรับปรุง) มีแนวโน้มการเกิดและการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารที่ต่ำลงเมื่อเลื่อนตำแหน่งในการติดตั้งประตูหนีไฟห่างออกไปในตำแหน่ง 2.0 เมตร, 3.6 เมตร, 5.1 เมตร, 6.7 เมตรและ 8.5 เมตร มีอัตราการสะสมต่ำที่สุดและดีที่สุดเมื่อเลื่อนตำแหน่งติดตั้งไปห่างจากจุดเกิดเพลิงไหม้มากที่สุด (8.5 เมตร)

4) การจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้กรณี 2A (กรณีปรับปรุง) มีแนวโน้มการเกิดและการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารแปรผกผันกับกรณี 2B โดยเมื่อเลื่อนตำแหน่งในการติดตั้งประตูหนีไฟห่างออกไปที่ตำแหน่ง 2.0 เมตร, 3.6 เมตร, 5.1 เมตร, 6.7 เมตรและ 8.5 เมตร ซึ่งเข้าใกล้จุดเกิดเพลิงไหม้ที่บริเวณถังน้ำมัน จะมีแนวโน้มการเกิดและการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารสูงขึ้น และสูงที่สุดในตำแหน่งติดตั้ง 8.5 เมตร

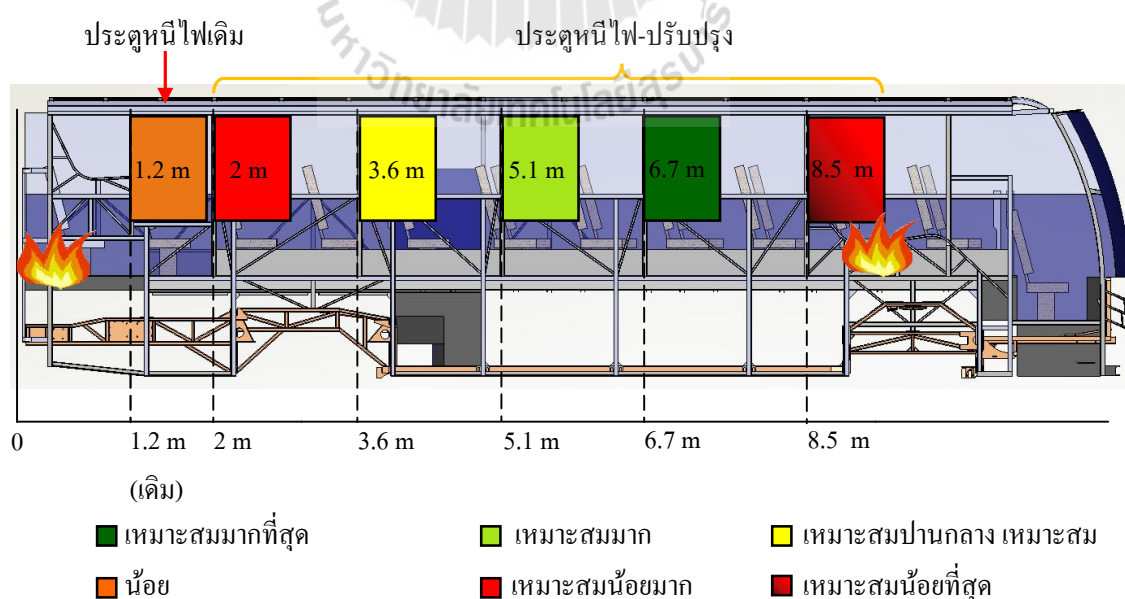
5) การปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟทั้ง 10 กรณี (5 ตำแหน่งประตูหนีไฟ และ 2 ตำแหน่งต้นเพลิง) พบว่าไม่มีตำแหน่งติดตั้งใดที่ช่วยลดการสะสมและการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องโดยสารให้ต่ำกว่าค่าวิกฤตได้ทั้ง 2 กรณี เนื่องจากเมื่อเลื่อนตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟออกไปไกลตำแหน่งต้นเพลิงในกรณี A เพื่อลดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในขณะเดียวกันจะเป็นการเพิ่มการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณี B ดังนั้นการย้ายตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟ จึงช่วยได้ผลเพียงหาตำแหน่งที่จะยืดระยะเวลาปลอดภัยใน

การอพยพของผู้โดยสารให้ได้มากที่สุด โดยพิจารณาผลต่าง ที่น้อยที่สุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบกับค่าวิกฤตเท่านั้น

แนวทางการปรับปรุง ตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟ

นอกจากปัจจัยเรื่องการสะสมก๊าซพิษระหว่างเกิดเพลิงไหม้ภายในห้องโดยสารแล้ว การปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟที่ดี ยังควรพิจารณาถึงความเหมาะสม ด้านความสะดวก ความเป็นไปได้ และความรวดเร็วในการหนีไฟอีกด้วย ดังเช่นรูปที่ 4.19 หากพิจารณาผลการสะสมก๊าซพิษเพียงอย่างเดียว ตำแหน่งประตูหนีไฟ 8.5 เมตร จะเป็นตำแหน่งที่มีความปลอดภัยเป็นอันดับ 2 รองจากประตูหนีไฟ 6.7 เมตร แต่หากเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นที่ตำแหน่งถังน้ำมัน จะทำให้ไฟลุกลามในบริเวณโดยรอบประตูหนีไฟ 8.5 เมตร ซึ่งจะทำให้ผู้โดยสารไม่สามารถอพยพผ่านช่องทางนี้ได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยรวมทั้งผลจากการทำนายการสะสมก๊าซพิษร่วมกับความเหมาะสมด้านความสะดวก และความรวดเร็วแล้ว การปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งประตูหนีไฟเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในกรณีเกิดเพลิงไหม้บนรถโดยสารปรับอากาศ สามารถทำได้ดังนี้

- 1) หากประตูหนีไฟมี 1 จุด ควรติดตั้งประตูดังกล่าวอยู่ระหว่างตำแหน่ง 5.1 - 6.7 เมตร วัดจากท้ายห้องโดยสาร จะช่วยเพิ่มระยะเวลาปลอดภัยในการอพยพผู้โดยสารออกจากพื้นที่ประสบภัยได้ 573 วินาที
- 2) หากติดตั้งประตูหนีไฟเป็น 2 จุด จุดที่ 1 ควรติดตั้งอยู่ระหว่างตำแหน่ง 1.2 - 3.6 เมตร จุดที่ 2 ควรติดตั้งที่ตำแหน่ง 8.5 เมตร วัดจากท้ายห้องโดยสาร ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งประตูหนีไฟ ในกรณีติดตั้ง 1 จุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การคำนวณเวลาในการอพยพในงานวิจัยนี้ ได้อ้างอิงค่าคงที่ของ Fahy (2003) โดยระบุว่า เมื่อประเภททางออกเป็นทางเดินระหว่างอาคาร ทางเดินระหว่างที่นั่ง ทางลาดและทางระหว่างประตูบันได ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณหาเวลาในการอพยพเท่ากับ 1.32 คนต่อวินาทีต่อเมตรความกว้างสุทธิ ดังนั้นเมื่อคำนวณเวลาในการอพยพผู้โดยสารในงานวิจัยนี้จึงได้ 48 วินาที ซึ่งค่านี้เป็นการอพยพโดยการหนีไฟในพื้นที่ต่อเนื่อง แต่ในกรณีงานวิจัยนี้เป็นลักษณะการหนีไฟจากประตูหนีไฟซึ่งสูงจากพื้น ซึ่งไม่เป็นพื้นที่ต่อเนื่อง จึงอาจใช้เวลามากกว่า 48 วินาที

2) การจำลองนี้ ตั้งค่ากองเพลิงแบบ Pool Fire ตลอดการจำลอง ซึ่งในเหตุการณ์เพลิงไหม้รถโดยสารปรับอากาศในเหตุการณ์จริงแล้ว ไฟจะมีการลุกลามเข้าสู่ห้องโดยสาร โดยเริ่มไหม้พื้นห้องโดยสารซึ่งมีวัสดุต้นเพลิงเป็นไม้อัดปูพื้นห้องโดยสารก่อนในช่วงแรก จากนั้นเมื่อพื้นห้องโดยสารถูกไหม้จนกลายเป็นช่องเปิดแล้ว จึงจะเป็นการการเผาไหม้จากถังน้ำมันเข้าสู่ห้องโดยสารซึ่งเป็นแบบ Pool Fire อย่างแท้จริง



รายการอ้างอิง

กิริติ สุกัญญ์ (2553). **พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ**.สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

คณะกรรมการร่างมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัย 3002 ประจำปี 2543 - 2544. **มาตรฐานการ ป้องกันอัคคีภัย : มาตรฐานเส้นทางหนีไฟ**. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรม ราชูปถัมภ์. พิมพ์ครั้งที่ 1 แก้ไขครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2545.

โนรี ตามสมัย, วิชัย ศิวะโกศิษฐ์ และ ณัฐศักดิ์ บุญมี (2556). การออกแบบและทดสอบระบบ ดับเพลิงแบบเคมีแห้ง สำหรับห้องเครื่องยนต์รถบรรทุกขนาดเล็ก. **วิศวกรรมสาร มก.** ฉบับ ที่ 85 ปีที่ 26 กรกฎาคม - กันยายน 2556 : 91 - 101.

ณัฐศักดิ์ บุญมี (2549). การหาขนาดกริดที่เหมาะสมสำหรับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร. การ ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20(MENETT'20) ณ. แมนดาริน โกลดั้น วอลล์ ไฮเต็ล แอนด์ รีสอร์ท วันที่ 18 - 20 ตุลาคม 2549.

กิตติศักดิ์ ศิวรานนท์ และ ณัฐศักดิ์ บุญมี (2550). การศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้ของถังน้ำมันดีเซล ขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง ประเทศไทยครั้งที่ 21(MENETT'21) ณ. โรงแรมเวลคัม จอมเทียน บีช จังหวัดชลบุรี วันที่ 17- 19 ตุลาคม 2550 : 26 - 32.

ณัฐศักดิ์ บุญมี (2554). การจำลองเชิงตัวเลขระบบระบายควันไฟด้วยวิธีธรรมชาติภายในโรงอาคาร. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 (MENETT'25).ณ อ่าวนางวิลล่ารีสอร์ท จังหวัดกระบี่ วันที่ 19 - 21 ตุลาคม 2554.

ณัฐศักดิ์ บุญมี (2550). การศึกษาขนาดกริดในการจำลองลำควันสมมาตรด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพมหานคร วันที่ 30 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2550.

- บุญศักดิ์ ทรัพย์เชี่ยวชาญ (2551). การศึกษาการแผ่กระจายควันในบันไดที่ไม่ปิดล้อมของอาคารสำนักงานโดยโปรแกรมพลศาสตร์อค์กีย์ฯ. วารสารเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์อค์กีย์. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม 2551 : 21 - 28.
- ชัยพฤกษ์ สุฤทธิกุล (2551). การศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายของควันเนื่องจากเพลิงไหม้ภายในโรงไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วารสารเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์อค์กีย์. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม 2551 : 41 - 48.
- เอกชัย แก้วกาญจนดิษฐ์ (2553). การศึกษาการระบายควันไฟในโถงสูง อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอค์กีย์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชโย คุณาไทย (2548). การออกแบบระบบดับเพลิงในห้องเครื่องยนต์รถโดยสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นายชนก ปิติปาละ (2547). การประยุกต์ใช้พลศาสตร์อค์กีย์เพื่อออกแบบห้องแสดงสินค้าให้ปลอดภัยจากเพลิงไหม้สำหรับร้านค้าย่อยภายในศูนย์สรรพสินค้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรพงษ์ สุประดิษฐ์อาภรณ์ (2556). การจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารวิศวกรรมเครื่องกลด้วยแบบจำลอง Pyrosim และ Pathfinder. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กิริติ ศรีประไหมและ อภิชาติ แจ่มบำรุง (2551). การออกแบบระบบโฟมดับเพลิงภายในห้องเครื่องยนต์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล. วิศวกรรมสาร มก.ปีที่ 22 ฉบับที่ 66 : 43 - 58.
- H.K.Versteeg, W.Malalasekera (2007). **An introduction to Computational Fluid Dynamics.** Person Education Limited. 2nd Edition : 463 - 467.
- Tan Jia-lei, Jin Long-zhe, Wang Tong, and Hu bin (2010). Study on typical bus fire simulation and control technology. **2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA).** Changsha, China. 11 - 12 May 2010 : 639 - 643.

- Xiaonan Zhang, Xishi Wang, and Yang Zhou (2011). Numerical Simulation Study on Bus Fire. **2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE)**. Nanjing, China. 24 - 26 June 2011 : 511 - 515.
- Yunlong Liu, Alfred Moser, and Yehuda Sinai (2004). Comparison of a CFD fire model against a ventilated fire experiment in an enclosure. **International Journal of Ventilation (IJV)**. Volume3, No 2, September 2004 : 169 - 184.
- Jana Backovsky, Kenneth L.Foote, and Norman J.Alvares (1988). Temperature profiles in forced Ventilation enclosure fires. *Fire Safety Science – Proceeding of the 2nd of International Symposium*. 315 - 324.
- Kun Bi, RongQiu, Yong Jiang, and Jing Chuan Zhang (2010). Reconstruction of a bus fire based on numerical simulation, **Journal of University of Science and Technology of China**. Vol.40, April 2010.
- N.J.Alvares, and K.L.Foote (1984). Forces ventilated enclosure fire. **Combustion Science and Technology**. Vol. 39 : 55 - 81.
- L.M.Tam, V.K.Sin, S.K.Lao, and H.F.Choi (2007). CFD Analysis of fire in a forced ventilated enclosure. **Computational Method in Engineering and Science**. : 222 - 229.
- Justim Williamson, Craig Beyler, and Jason Floyd (2011). Validation of Numerical Simulation of compartment fire with forced or natural ventilation using the fire and smoke simulator (FSSIM), CFAST and FDS. **Fire Safety Science Proceedings of the Tenth international Symposium**. : 1277 – 1288.
- J.Glasa, L.Valasek, P.Weisenpacher, and L.Halada(2012). Use of Pyrosim for Simulation of cinema fire. **International Journal of Recent Trends in Engineering and Technology**. Vol.7, No 2 : 51 - 56.
- S.Vasanth, S.M.Tauseef, TasneemAbbasi, A.S.Rangwala, and S.A.Abbasi (2014). Assessment of the effect of pool size on burning rates of multiple pool fires using CFD. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. Vol.30 : 86 - 94.

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ปิยกานต์ หาญสมักร เอกลักษณ์ พรหมภักดี กิรติ สุลักษณ์ (2557) การทำนายพฤติกรรมการระบาย
อากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ การประชุม
วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 28 (ME - NETT'28) 15 - 17
ตุลาคม 2557 จ.ขอนแก่น

ปิยกานต์ หาญสมักร กิรติ สุลักษณ์ (2558) **PREDICTION OF AIR FLOW VENTILATION
AND TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN A BUS COMPARTMENT**
The 41st Congress on Science and Technology of Thailand (STT'41) 6 - 8 พฤศจิกายน
2558 จ.นครราชสีมา



CST-49

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28
15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น



**การทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิ
ภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ
Prediction of Air Flow Ventilation and Temperature Distribution
within a Bus Compartment**

ปิยกันต์ หาญสมัคร์¹, เอกลักษณ์ พรหมภักดี² และ กীরติ สุลักษณ์^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง นครราชสีมา 30000

²บริษัท อู่ชัยอุตสาหกรรม จำกัด

1069 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000, โทร. 044-240506

*ติดต่อ: Email keerati@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 044-224235, เบอร์โทรสาร 044-224613

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จำลองการไหลและการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยสาร รถโดยสารปรับอากาศ รุ่น Inter City Bus ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง อุณหภูมิที่ช่องจ่ายลมเย็นเข้าห้องโดยสาร 22.28 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็น 13.67 เมตร/วินาที โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน k-ε รูปแบบ Realizable - standard wall function ผลจากการจำลองพบพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารที่มีค่าอยู่ในช่วง 24.14 - 24.86 องศาเซลเซียส ความเร็วการไหลของอากาศมีค่าเฉลี่ย 2.04 เมตร/วินาที และรูปแบบการไหลเวียนอากาศภายในห้องโดยสารบริเวณส่วนกลาง ตำแหน่งทางขึ้นห้องโดยสาร เกิดการหมุนวนของมวลอากาศภายในบริเวณนั้นได้ ซึ่งอาจนำอากาศที่ไม่พึงประสงค์จากบริเวณหน้าห้องสุขา ไหลวนเข้ามาในส่วนของผู้โดยสาร ดังนั้นในการออกแบบการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นเพื่อตอบสนองต่อความสบายของผู้โดยสาร ในรถปรับอากาศรุ่นนี้ ควรปรับปรุงอัตราการไหลให้มีค่าอยู่ในช่วงความสบายของผู้โดยสารคือ 0.083 - 0.133 เมตรต่อวินาที ขนาดและตำแหน่งของหัวจ่ายลมเย็นบริเวณส่วนกลาง ตำแหน่งทางขึ้นห้องโดยสาร เพื่อแก้ปัญหาการหมุนวนของมวลอากาศภายในบริเวณนั้นได้

คำหลัก: รถโดยสารปรับอากาศ, การจำลองการไหล, ห้องโดยสาร, การกระจายอุณหภูมิ, การระบายอากาศ

Abstract

This research is the model of air ventilation and temperature distribution inside the bus compartment of the Inter City Bus series, at 80 km/hr. bus velocity, Air inlet temperature injected to internal bus compartment are 22.28 Celsius degree and 13.67 m/s. speed of air by using ANSYS Fluent 14.0 software based on the air turbulence flow k-ε Realizable model - standard wall function. The results of simulation found that the temperature distribution inside the bus compartment are around 24.14 - 24.86 Celsius degree, the air ventilation average speed is 2.04 m/s and the air ventilation path of flow inside the bus compartment at the center of bus area around steps way is circulate the air mass. This will bring an

CST-49

unwanted smelted air from front of internal toilet room to area of passengers seating. So for redesign steps need to improve speed of air injected to be 0.083 – 0.133 m/s that suitable for passengers, volume and position of air injected channel for adapt the air circulated at the center of bus area around steps way.

Keywords: Air-Bus, Air Ventilation Model, Bus Compartment, Temperature Distribution, Ventilation

1. บทนำ

ในปัจจุบันที่การคมนาคมเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ การคมนาคมและขนส่งโดยรถประจำทางหรือรถโดยสารถือเป็นหนึ่งในการขนส่งทางบกที่สำคัญอย่างยิ่ง นอกเหนือจากการขนส่งทางรถไฟ การขนส่งทางรถยนต์ส่วนบุคคลและรถยนต์รับจ้าง จากสถิติกรมการขนส่งทางบกพบว่า มีผู้ใช้บริการกว่า 35 ล้านคนในแต่ละปี ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมต่อรถโดยสารเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยบริษัท 3 กลุ่มผู้ประกอบการใหญ่ คือ บริษัทผู้ผลิตชุดอุตสาหกรรมจำกัด จ.นครราชสีมา, บริษัทพานทองกลการจำกัด จ.ฉะเชิงเทรา และกลุ่มต่อตัวถังรถยนต์บ้านโป่ง จ.ราชบุรี ในสัดส่วนการผลิตแห่งละ 30 % และผู้ประกอบการรายย่อยอื่นอีก 10% โดยประมาณ ในกระบวนการต่อรถโดยสารปรับอากาศ นอกจากปัจจัยด้านประสิทธิภาพหรือสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ตอบสนองโดยตรงด้านการขับเคลื่อนแล้ว ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารถือเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบ เช่น เบาะที่นั่งโดยสาร ระบบภาพและเสียง ระบบไฟส่องสว่างห้องนำ และส่วนที่สำคัญที่สุดคือระบบปรับอากาศสำหรับห้องโดยสารซึ่งจะช่วยให้ผู้โดยสารรู้สึกเย็นสบาย ระบบปรับอากาศมีปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารที่ต้องควบคุมให้พอเหมาะเช่น ปรับอุณหภูมิกระจายอย่างสม่ำเสมอที่ 24.5 องศาเซลเซียส ขณะที่อากาศเคลื่อนไหวในอัตราประมาณ 0.083 – 0.133 เมตรต่อวินาที, ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงการนำเข้าอากาศใหม่ที่เพียงพอกับการหายใจที่สดชื่น

, ความสะอาดของอากาศ ปราศจากเชื้อโรคและกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ในรุ่นชั้นครึ่งหรือ Intercity Bus ซึ่งเป็นรุ่นที่นิยมใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร รองรับผู้โดยสารได้จำนวน 38 - 44 ที่นั่ง ที่ความเร็วของรถโดยเฉลี่ย 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ภายใต้สมมุติฐานสภาพอากาศแวดล้อมที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วลมและอุณหภูมิภายใน ที่ตำแหน่งช่องจ่ายลมเย็นเข้าห้องโดยสารเท่ากับ 13.67 เมตร/วินาทีและ 22.28 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน ผลที่ได้ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลของอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร ซึ่งนำไปสู่การออกแบบตำแหน่งและจำนวนที่เหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศสำหรับห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความสบายของผู้โดยสารให้ดียิ่งขึ้น

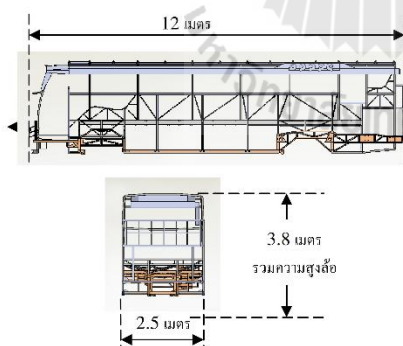
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเขียนแบบรถยนต์โดยสาร

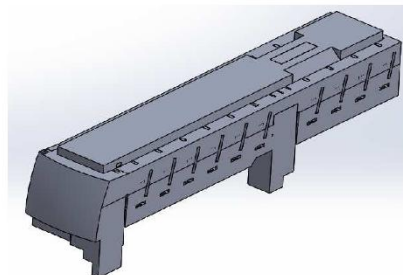
รถโดยสารปรับอากาศรุ่นชั้นครึ่ง หรือ Intercity Bus เป็นรุ่นที่นิยมใช้ในการขนส่งผู้โดยสารสามารถรองรับผู้โดยสารจำนวน 38 - 44 ที่นั่ง มีความสูงตลอดคันรถ 3.8 เมตร ความยาวตลอดคันรถ 12 เมตร และความกว้างตลอดคันรถ 2.5 เมตร โดยประมาณ (ดูรูปที่ 1) มีปริมาตรภายในคันรถทั้งหมด 46.94 ลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นพื้นที่การท่า

CST-49

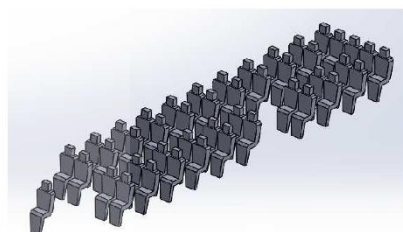
ความเย็น 44.68 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรเบาที่นั่งโดยสารและอื่นๆอีก 2.27 ลูกบาศก์เมตร นิยมติดตั้งเครื่องทำความเย็น 2 ชนิดคือ (1) เครื่องทำความเย็นชนิดหลังคา (Roof Unit) โดยติดตั้งเครื่องทำความเย็นทั้งชุดบนพื้นที่หลังคาโดยสารถปรับอากาศ และ (2) เครื่องทำความเย็นชนิดแยกส่วน (Split type) แยกติดตั้งคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ไว้ที่ส่วนท้ายรถร่วมกับเครื่องยนต์, ติดตั้งตัวควบแน่นหรือคอยล์ร้อน (Condensor) และอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Expansion valve) ที่ส่วนข้างของตัวรถใกล้กับคอมเพรสเซอร์, และติดตั้งคอยล์เย็น (Evaporator) ไว้ในท่อลมภายในห้องโดยสาร ปัจจุบันสถานประกอบการเลือกชนิดของเครื่องทำความเย็นตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนเบาที่นั่งโดยสารตามความต้องการของผู้ซื้อ ตั้งแต่ 30 - 44 ที่นั่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วนและติดตั้งเบาที่นั่งโดยสารที่ภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ 44 ที่นั่ง, หัวจ่ายลมเย็น 46 ช่อง ซึ่งรับลมเย็นจากคอยล์เย็น (Evaporator) จำนวน 2 ยูนิต์ เพื่อจ่ายลมเย็นให้ห้องโดยสารฝั่งซ้าย-ขวาผ่านท่อลม เขียนแบบจำลองปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสารและจำลองปริมาตรผู้โดยสาร 0.0064 ลูกบาศก์เมตร/คน จำนวนผู้โดยสาร 44 คน โดยใช้โปรแกรม Solid Works 2013 (ดูรูปที่ 2,3)



รูปที่ 1 โมเดลรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Intercity Bus



รูปที่ 2 แบบจำลองปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสาร



รูปที่ 3 แบบจำลองจำลองปริมาตรผู้โดยสาร 44 คน

2.2 การวัดและเก็บข้อมูล

การดำเนินการเริ่มจากการทำการตรวจวัดความเร็วลมที่ออกจากหัวจ่ายลมเย็นขนาด 8.5x5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 46 ช่อง ติดตั้งบริเวณเหนือเบาที่นั่งโดยสาร และช่องกลับอากาศขนาด 140x37 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 ช่อง ติดตั้งระหว่างคอยล์เย็นฝั่งซ้ายขวา การวัดอิงตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (ASHRAE, 1992) โดยแต่ละช่องหัวจ่ายลมเย็นได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 5 จุด (ดูรูปที่ 4) ผลการวัดได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 13.67 เมตร/วินาที และตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยที่ช่องกลับอากาศทั้งหมด 12 จุด (ดูรูปที่ 5) ผลการวัดได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 2.35 เมตร/วินาที

← 8.5 เซนติเมตร →		↑ 5 เซนติเมตร ↓
1	2	
3	4	
5	6	

รูปที่ 4 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็น

CST-49



1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

รูปที่ 5 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่ช่องกลับอากาศ

2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร นอกจากปัจจัยภายในเช่น การทำความเย็นคือผู้โดยสาร ปริมาตรห้องโดยสาร ตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็น ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่หัวจ่ายลมเย็นและอื่นๆแล้ว ยังได้รับอิทธิพลจากภายนอกเช่น อุณหภูมิของอากาศภายนอกแวดล้อมโดยรอบซึ่งกำหนดเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วของรถโดยสารในการขับขีที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องโดยสารผ่านผนังที่ทำด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น กระฉก อลูมิเนียม ไม้ หรือเหล็กบางเป็นต้น ทั้งนี้ความเร็วของรถโดยสารที่ขับด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะถูกนำไปใช้แบ่งแยกรูปแบบการไหลของอากาศที่ไหลผ่านรถโดยสารในรูปของเลขเรโนลด์

2.2.1 เลขเรโนลด์ (Renold Number, Re)

$$Re_H = \frac{\rho D_H v}{\mu} \quad (1)$$

v = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล

D_H = Hydraulic Diameter

μ = ความหนืดสัมบูรณ์

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

รูปแบบการไหลจากการคำนวณค่า เลขเรโนลด์ข้างต้น จะบอกถึงรูปแบบของการไหลอากาศ ซึ่งจะสามารถบ่งชี้ถึงการส่งผ่านโมเมนตัมในของไหลเมื่อเทียบกับการส่งผ่านความร้อนในของไหล โดยเขียนให้อยู่ในรูปของเลขพรานด์เทิล (Prandtl Number, Pr)

2.2.2 เลขพรานด์เทิล

สูตรที่ใช้ในทางวิศวกรรมของเลขพรานด์เทิลสามารถเขียนได้ว่า

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{viscous diffusion rate}}{\text{thermal diffusion rate}} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2)$$

ซึ่งเลขพรานด์เทิลคำนวณด้วยสมการ (2) เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) เพื่อเชื่อมโยงไปหาคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ดังนี้

2.2.3 เลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu)

Gnielinski's correlation สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

$$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000) Pr}{1 + (12.7\sqrt{f/8})(Pr^3 - 1)} \quad (3)$$

เมื่อ f คือ Darcy friction factor ซึ่งสามารถหาได้จาก Moody Chart หรืออาจหาได้จาก

$$f = (0.79 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2} \quad (4)$$

โดย Gnielinski's correlation มีเงื่อนไขใช้งานดังนี้

$$0.5 \leq Pr \leq 2000$$

$$3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$$

และ

2.2.4 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient, h)

$$h = f(Nu, Pr) \quad (5)$$

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ h

$$Nu = \frac{\text{Convective Heat Transfer}}{\text{Conductive Heat Transfer}} = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องโดยสารผ่านผนังที่ทำด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น กระฉก อลูมิเนียม ไม้ หรือเหล็กบาง จึงถูกคำนวณโดยสมการ (6) โดยขึ้นกับความหนาและค่า k ของวัสดุนั้นๆ

2.3 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

การทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ขณะที่รถโดยสารวิ่งด้วยความเร็ว

CST-49

80 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 22.22 เมตร/วินาที ตามความสัมพันธ์จากสมการที่ 1-6 ความเร็วของรถโดยสารจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ห้องโดยสาร ได้รับการกำหนดผ่านค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพอากาศแวดล้อม 33 องศาเซลเซียส การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้องโดยสาร ผ่านทางหน้าต่าง ผนัง พื้น กระงะและหลังคา กำหนดเงื่อนไขเป็นแบบผนัง ในสภาพการไม่สิ้นไหล ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังแสดงในตารางที่ 1

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสาร 1550.38 วัตต์/ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิภายในเฉลี่ยของผู้โดยสาร 37 องศาเซลเซียส ปริมาตรผู้โดยสารเฉลี่ย 0.0064 ลูกบาศก์เมตร)

ทั้งนี้ยกเว้นการพิจารณาภาระการทำความเย็นอันเกิดจากอุปกรณ์ส่องสว่าง

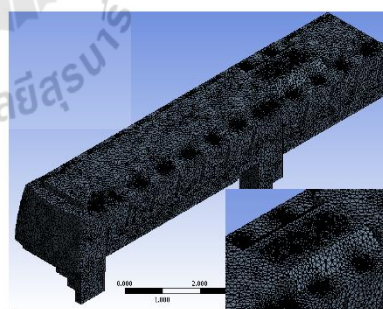
บนพื้นฐานระเบียบวิธี Finite Volume, ปริมาตรจำลองภายในห้องโดยสาร พื้นที่เบาะที่นั่งโดยสาร อุปกรณ์อื่นๆ และปริมาตรจำลองของผู้โดยสารจำนวน 44 คน ถูกเขียนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย Solid Work 2013 ด้วยอัตราส่วนจริง โดยกำหนดให้เงื่อนไขความเร็วลมและอุณหภูมิที่หัวจ่ายลมเย็นเป็นแบบความเร็วเข้า (Velocity inlet) มีความเร็วลมเท่ากับ 13.67 เมตร/วินาที และอุณหภูมิ 22.28 องศาเซลเซียส, เงื่อนไขที่ช่องกลับอากาศเป็นแบบช่องลมออก (Outflow)

การจำลองพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ใช้วิธีการทางพลศาสตร์ของไหล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป FLUENT เวอร์ชัน 14 บนสมมติฐานการไหลแบบราบเรียบและอัดตัวไม่ได้

Material	Thermal Conductivity, k (w/m·K)	Chanel Diameter, D (m)	Heat Transfer Coefficient, h (w/m ² ·K)
พื้นห้องโดยสาร	0.03	11.76	8.21
ผนังห้องด้านข้าง	0.03	11.76	8.21
ผนังห้องด้านหลัง	0.03	0.88	109.48
กระงะหน้า	0.096	1.87	165.15
กระงะข้าง	0.096	11.76	26.27
กระงะหลัง	0.096	0.87	356.40
หลังคา	0.03	11.23	8.60
เบาะที่นั่งโดยสาร	0.03	1.37	70.71

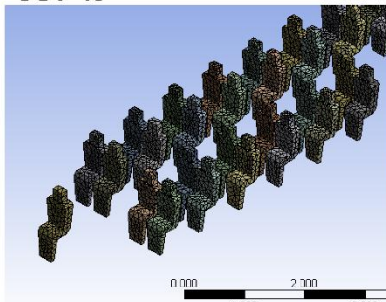
ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผนังของปริมาตรจำลอง

ในการทดสอบ เลือกใช้กริดแบบ Tetrahedral เนื่องจากข้อจำกัดด้านความซับซ้อนของปริมาตรความละเอียด 1,286,327 อีเลเมนต์ ดังรูปที่ 6-7 ซึ่งจะกำหนดให้ตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศมีความละเอียดที่สูง เนื่องจากเป็นขอบเขตที่มีการไหลแบบที่ส่งผลกระทบท่อพฤติกรรมการไหลเริ่มต้นทั้งหมดภายในปริมาตรห้องโดยสาร



รูปที่ 6 ลักษณะกริดของปริมาตรอากาศในห้องโดยสารที่ใช้

CST-49



รูปที่ 7 ลักษณะกริดของปริมาตรผู้โดยสารที่ใช้

3. ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องโดยสาร ที่ระนาบ 3 ระนาบ ได้แก่ (1) ระนาบ 0.3 เมตร (2) ระนาบ 1.153 เมตร และ (3) ระนาบ 2.006 เมตร อ้างอิงจากประตูห้องโดยสาร ซึ่งเป็นระนาบที่เป็นตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นด้านติดประตูห้องโดยสาร (รูปที่ 8) , ระนาบกลางระหว่างทางเดินที่เป็นตำแหน่งติดตั้งช่องกลับอากาศ (รูปที่ 9) และระนาบที่เป็นตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นด้านตรงข้ามกับประตูห้องโดยสาร (รูปที่ 10) ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถพิจารณาการกระจายอุณหภูมิในแต่ละระนาบสำคัญที่สนใจได้ เนื่องจาก ระนาบที่ 1 และ ระนาบที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ผู้โดยสารอยู่ และระนาบที่ 2 เป็นระนาบที่มีความสำคัญต่อการระบายอากาศออกจากห้องโดยสาร

ใน 3 กรณีที่พิจารณาการกระจายอุณหภูมิ คือ

- (1) กรณีที่ไม่มีผู้โดยสาร บนห้องโดยสาร
- (2) กรณีที่มีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบราบเรียบ
- (3) กรณีที่มีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบปั่นป่วน แบบ

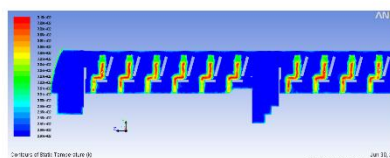
k-ε รูปแบบ Realizable และมี Near wall treatment แบบ standard wall function

ผลการจำลองหาอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร 3 กรณี ได้คำตอบดังนี้

กรณี ที่	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิใน ห้องโดยสาร (องศาเซลเซียส)ที่ ระนาบ 1, ระนาบ 2, ระนาบ 3 ตามลำดับ	ค่าเฉลี่ยความเร็ว ภายในห้องโดยสาร (เมตร/วินาที)ที่ระนาบ 1, ระนาบ 2, ระนาบ 3 ตามลำดับ
1	23.61, 24.08, 23.53	0.99, 1.48, 0.99
2	25.22, 24.01, 25.37	2.02, 3.03, 2.02
3	24.25, 24.14, 24.03	2.04, 2.04, 2.04

ตารางที่ 2 ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร

ตารางที่ 2 พบว่าเมื่อไม่มีผู้โดยสารภายในห้องโดยสาร จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายใน เท่ากับ 23.73 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 1.152 เมตร/วินาที ที่ระนาบ 1, และ 3 ซึ่งเป็นระนาบที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ผู้โดยสารนั่งอยู่ และกรณีที่ 2-3 เมื่อมีผู้โดยสารอาศัยอยู่บนรถโดยสาร ซึ่งพื้นที่การทำความเย็นภายในห้องโดยสาร นอกจากจะได้รับความร้อนจากภายนอกแล้ว ผู้โดยสารยังถือว่าเป็นหนึ่งในภาระการทำความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อการไหลแบบราบเรียบ จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24.86 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.69 เมตร/วินาที และอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อการไหลแบบปั่นป่วน จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24.14 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.04 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่าการพิจารณาในกรณีที่ 1 ที่ไม่มีผู้โดยสารอยู่ภายใน

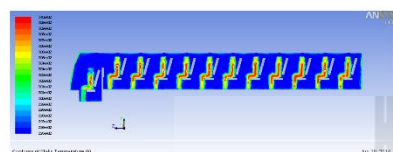


รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิที่ระนาบที่ 1, กรณีมีผู้โดยสาร

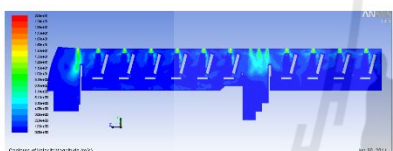
CST-49



รูปที่ 9 การกระจายอุณหภูมิที่ระนาบที่ 2 กรณีมีผู้โดยสาร



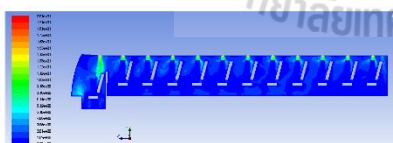
รูปที่ 10 การกระจายอุณหภูมิที่ระนาบที่ 3 กรณีมีผู้โดยสาร



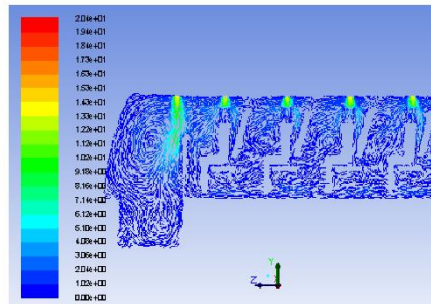
รูปที่ 11 พฤติกรรมความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 1 กรณีมีผู้โดยสาร



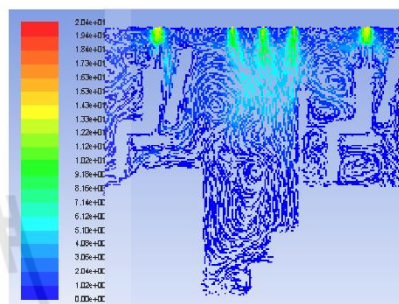
รูปที่ 12 พฤติกรรมความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 2 กรณีมีผู้โดยสาร



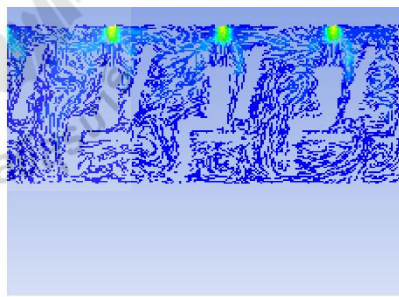
รูปที่ 13 พฤติกรรมความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 3 กรณีมีผู้โดยสาร



รูปที่ 14 พฤติกรรมการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 "ส่วนหน้า ของห้องโดยสาร" กรณีมีผู้โดยสาร



รูปที่ 15 พฤติกรรมการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 "ส่วนกลาง ของห้องโดยสาร" กรณีมีผู้โดยสาร



รูปที่ 16 พฤติกรรมการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 "ส่วนท้าย ของห้องโดยสาร" กรณีมีผู้โดยสาร

CST-49

4. สรุป

จากผลการศึกษาและทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้ง 3 กรณี คือ (1) กรณีที่ไม่มีผู้โดยสาร บนห้องโดยสาร (2) กรณีที่มีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) (3) กรณีที่มีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบปั่นป่วน แบบ k-epsilon (2equation) รูปแบบ Realizable และมี Near wall treatment แบบ standard wall function

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิทั้ง 3 กรณีศึกษา พบว่าในสภาวะใช้งานที่มีผู้โดยสาร 44 ที่นั่ง ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ สามารถกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารให้อยู่ในช่วงประมาณ 24.14 - 24.86 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงความสบายของผู้โดยสารคือ 24.5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความเร็วของอากาศ พบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยสูงเกินมาตรฐาน เนื่องจากมีค่ามากถึง 2.04 เมตร/วินาที ซึ่งในช่วงความสบายของผู้โดยสารคือ 0.083 - 0.133 เมตรต่อวินาที

อีกทั้งเมื่อพิจารณาการไหลเวียนอากาศภายในห้องโดยสารบริเวณส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนท้ายทั้ง 3 กรณี ยังพบอีกว่า บริเวณส่วนกลางของห้องโดยสาร ไม่มีความเหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็น เนื่องจากแรงลมที่ถูกจ่ายออกในตำแหน่งเหนือบันไดทางขึ้นส่วนกลางของห้องโดยสาร จะทำให้เกิดการหมุนวนของมวลอากาศภายในบริเวณบันไดทางขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปของรถโดยสารชั้นครึ่ง หรือสองชั้น จะเป็นพื้นที่ติดตั้งห้องสุขาภายใน และจะทำให้หน้าอากาศที่ไม่พึงประสงค์จากบริเวณหน้าห้องสุขาไหลวนเข้ามาในส่วนของผู้โดยสาร อันจะเกิดความรู้สึกแสบและไม่สบายแก่ผู้โดยสารได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Colella, G. Rein, R. Carvel, P. Reszka, J.L. Torero (2010). Analysis of the ventilation systems

in the Dartford tunnels using a multi-scale modelling approach, Tunnelling and Underground Space Technology 25, pp. 423-432.

[2] ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2553). พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลุ่ม

[3] David C. Wilcox, DCW Industries, Inc., La Canada, California (1994). Turbulence Modeling for CFD .

[4] H. Versteeg, W. Malalasekera (1995). An Introduction to computational fluid dynamics : the finite volume method, ISBN: 0-470-23515-2 .

[5] ASHRAE. (1992). Standard 41.2-1987 (RA 92), Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, Inc.

[6] เครื่องปรับอากาศในบ้าน, เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน(2548). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

PREDICTION OF AIR FLOW VENTILATION AND TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN A BUS COMPARTMENT

Piyakan Hansamuk,^{1*} and Keerati Suluksna¹

¹School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 Suranaree, Mueng Nakornratchasima, Nakornratchasima 30000, Thailand

*e-mail : ph.wattanakarn@gmail.com

Abstract : This research is the model of air ventilation and temperature distribution inside the bus compartment of the Inter City Bus series, at 80 km/hr. bus velocity, cooled air is supply from the roof refrigeration unit. The temperature injected to internal bus compartment at the air inlet channel are 22.28 Celsius degree and 13.67 m/s. speed of air. An applications of ANSYS Fluent 14.0 software based on the air turbulence flow k- ϵ Realizable model - standard wall function, P-1 radiation, the wall function are no slip wall shear condition and convection thermal condition that are carried out by force convection. The Prandtl Number, Pr and Nusselt Number, Nu are used to handle for the heat transfer coefficient of each walls of the bus compartment. The results of simulation found that the temperature distribution inside the bus compartment are around 24.14 - 24.86 Celsius degree, the air ventilation average speed is 2.04 m/s and the air ventilation path of flow inside the bus compartment at the center of bus area around steps way is circulate the air mass. This will bring an unwanted smelted air from front of internal toilet room to area of passengers seating. So for redesign steps need to improve speed of air injected to be 0.083 – 0.133 m/s that suitable for passengers, volume and position of air injected channel for adapt the air circulated at the center of bus area around steps way.

Keywords : Air-Bus, Air Ventilation Model, Bus Compartment, Temperature Distribution, Ventilation, Force Convection

Introduction : The fast forward of present communication and transportation such as land, water and air transportation. The bus is one of the extremely important of land transportation aside of rail transport, car and taxi. From the Department of Land Transport statistics found that more than 35 million people are as the bus passenger. Thai bus industry are build which sell in and sell out to other country. The top 3 Thai bus industry company are Cherdchai industry Co.,Ltd -Nakorn Ratchasima, Panthong Machinery Co.,Ltd -Chachoengsao and The Group of Ban Pong bus body building -Ratchabuti. The production of 30 percent for each company and other small enterprised totally 10% approximately. In the process of bus creation, Not only the performance of engine that directly response the driving factor, but also the comfortable of bus is one of important factor to considered in design process. Such as the passenger seat, audio and visual system, lighting, the most important is the unit of air conditioning system which allows passengers feel fresh and cool. Air conditioning factors or parameters relate to passenger comfort, such as the temperature must controlled to some extent as evenly distributed at 24.5 °C, while the air flowing at the rate of about 0.083-0.133 m/s. The relate humidity at around 50% include to the new fresh air supply to the compartment without germs and odors.

This research present the study and prediction of behavior of ventilation and temperature distribution inside the compartment of intercity bus series which widely used in land transportation. Able to contain the 38-44 passengers on the condition of 80 km/hr bus speed, under the assumption of an ambient temperature of 33 °C, Velocity and Temperature of cooling air inlet are 8.0208 m/s and 21.9565 °C respectively by using ANSYS-Fluent 14 on the basis of turbulent flow. The result of this research help to understand the behavior of airflow and temperature distribution inside compartment which let to redesign the position,

amount of inlet channel of cooling air that response to the passenger comfortable.

Methodology: Bus Model

A one and half decker air conditioning bus is named as a common as Intercity Bus is wildly used in a daily transportation. There is 38-44 seats of passenger can be contained by the volume of 3.8 m height, 12 m length, 2.5 m width (Figure 1) and a total capacity of 46.94 m³ (Figure 2) approximately that is divided to a cooling volume 44.68 m³, Seats, Passengers and other more are 2.27 m³. There are 2 types of refrigeration unit installed. (1) Roof type Refrigeration (Roof unit), Installing a refrigeration unit on the roof of bus. (2) Split type refrigeration unit, There are split air conditioning compressor install at the bus rear close of the area of engine installed. A condenser or heat exchanger and pressure control or expansion valve are install at the side of bus. And other, Evaporator unit are install inside air conditioning duct pipe on the top of bus compartment. By conventional, the bus building company are choose the type of air conditioning unit reflect to the number of passenger seats that is based on customer order. According to the human cooling load. 20 seats with passenger on left side of compartment, 18 seats on right, 5 seats on rear and 1 seat of driver (Figure 3). Totally maximum of human cooling load 44 passengers inside. 44 channels of fresh cool air inlet supplied to the bus compartment in a position of passenger and 2 channels are supply to front of bus compartment. Totally 46 cooling channels supplied to the compartment by the 2 cooling coils or evaporators installed inside left and right cooling pipes on the top of bus compartment. The model and simulate the air volume inside a bus compartment 0.0064 cubic meters/passenger are inside by using Solid Work 2013.

Measurement and Data Collection :

Measure 46 channels of 8.5x5 cm². A fresh cooling air inlet feed to the compartment. That are installed at a top of compartment above the passenger head. And the 1 channel of 140x37 cm². Air return that installed at a middle of left and right side cooling coils at the top of compartment. The measurement is based on ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (ASHRAE,1992) with 5 points measured for each channel of cooling air. The average cooling air speed 8.0208 m/s and 21.9565 °C of cooling air temperature.

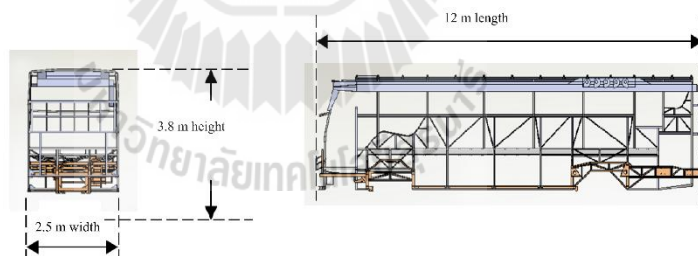


Figure 1 Intercity bus model.

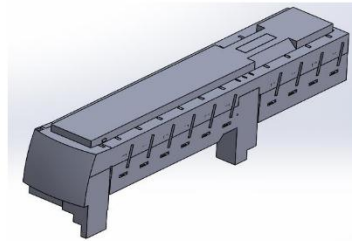


Figure 2 Air Volume model inside bus compartment.

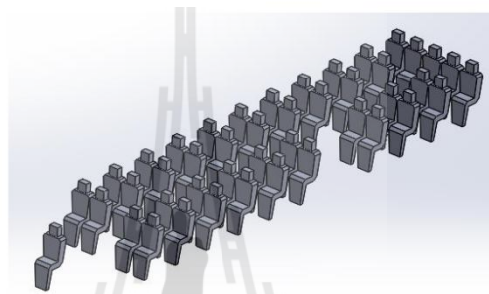


Figure 3 Passenger volume use for simulation.

Related Variables

$$Re_H = \frac{\rho D_H v}{\mu} \quad (1)$$

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\text{viscous diffusion rate}}{\text{thermal diffusion rate}} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2)$$

$$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + (12.7\sqrt{f/8})(Pr^3 - 1)} \quad (3)$$

$$f = (0.79 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2} \quad (4)$$

Where f can find from moody chart or eq.4

$$h = f(Nu, Pr) \quad (5)$$

$$Nu = \frac{\text{Convective Heat Transfer}}{\text{Conductive Heat Transfer}} = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

Table 1 Bus compartment wall properties of heat transfer coefficient (h).

Material	Thermal Conductivity, k	Chanel Diameter, D	Heat Transfer Coefficient, h
	(w/m ² ·K)	(m)	(w/m ² ·K)
Bus Floor	0.030	11.76	8.21
Side wall	0.030	11.76	8.21
Rear wall	0.030	0.88	109.48
Front glass	0.096	1.87	165.15
Side glass	0.096	11.76	26.27
Rear glass	0.096	0.87	356.40
Roof	0.030	11.23	8.60
Seat	0.030	1.37	70.71

Computer Simulation : Prediction of air flow and temperature inside a bus compartment while 80 km/hr (22m/s) driven. According to equation of 1-6, Velocity of bus will relate to the Reynold number which classify the type of turbulence and Nusselt number. In this simulation of driving bus has force convection that Nusselt number(Nu) and Reynold number(Re) will direct to use to calculate the heat transfer coefficient(h). As in the Table 1, the heat transfer coefficient are used for specify condition of wall properties. An ambient temperature are 33 °C tranmiss heat to bus internal through the walls, ground and roof on the condition of no-slip wall condition. The heat generation from a passenger is 1,550.38 W/m³, Fixed temperature of passengers are 37 °C and average passenger volume 0.0064 m³. Othermore, exclude the cooling load from lighting implement.

Base on the Finite element scheme, the internal simulation control volume of bus compartment, passenger seats. Other equipments inside and control volume of passenger are create by Solid Work 2013 program by an actual size, set the velocity of fresh air and temperature at 46 channels as Velocity Inlet as 8.0208 m/s and 21.9596 °C. The return air is set to Out flow type by FLUENT version 14.0 to simulate the dynamics of fluid flow base on the assumption of turbulence model with an incompressible flow. Tetrahedral elements are use in this simulation, But with the complicate shape limit cause the hex elements can not fit to control volume of bus shape. For prevention of error which occure mesh quality, the tecqnical of Double Mesh method will applied to find the better independent tetrahedral element for simulate this research, and result of the 1,286,327 elements are used for simulation. (Figure 4-5) show the position of fresh air inlet and out flow set to 5 mm and 10 mm grid size respectively due to the this 2 boundaries has high turbulence rate that affect to the behavior of starting flow into the whole control volume of bus compartment.

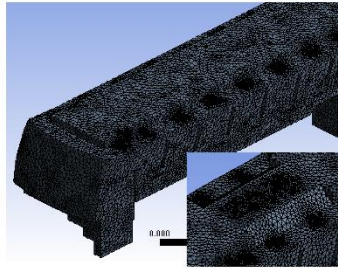


Figure 4 Tetrahedral elements of bus compartment volume.

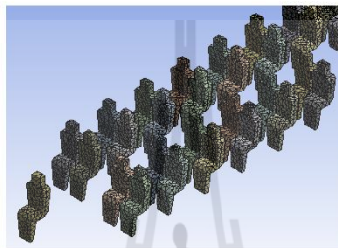


Figure 5 Tetrahedral elements of passengers volume.

Results and Discussion: Result of simulation, temperature and velocity of air inside bus compartment will be measured at plane 2.006 m reference from bus doors which is 1 from 2 side install the channel of fresh cooling air supply to bus compartment (Along left and right side of fresh cooling air pipes installed on bus roof).

The sample line of temperature compare with experiment data measured with passengers inside in the area of 3rd seat after bus driver. The result compared is in figure 6.

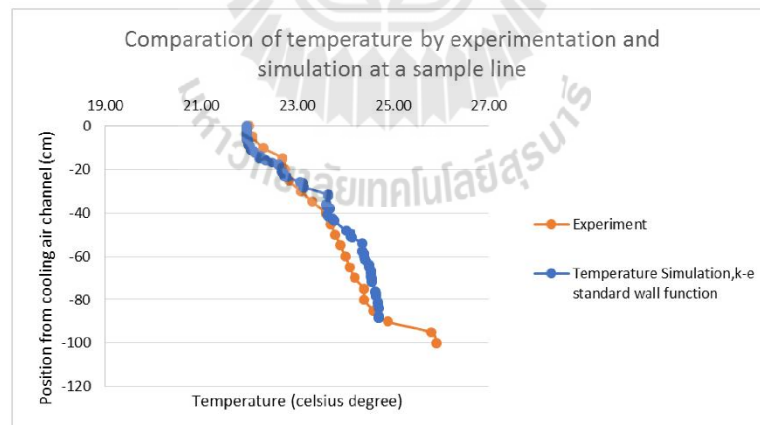


Figure 6 Comparison of temperature by experimentation and simulation at a sample line.

Velocity of air flow inside bus compartment at the same line of temperature sample line compared with experiment is show in figure 7.

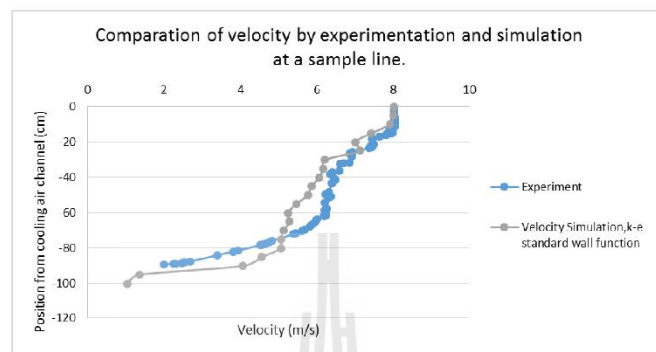


Figure 7 Comparison of velocity by experimentation and simulation at a sample line.

Furthermore, at the plane of 0.3 m reference from passenger door. Found that the air flow inside the bus compartment at the area around steps way has circulated (Figure 8-9). This will bring an unwanted smelt air from front of internal toilet room to area of passengers seating.

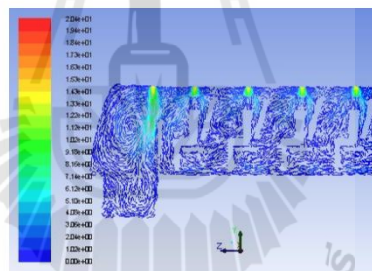


Figure 8 The circulation of air at the plane of 0.3 m reference from passenger door.
(At front door)

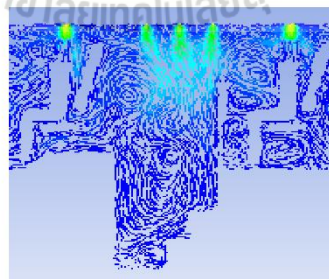


Figure 9 The circulation of air at the plane of 0.3 m reference from passenger door.
(At rear door)

Conclusion : Through the result of prediction of air flow ventilation and temperature distribution within a bus compartment we can know that the average temperature of air whole the inside of compartment are 24.14 - 24.86 °C from the simulation and found that it is as the trend like the result from experiment that in this range of temperature are suitable for passenger.

But in consideration of velocity of air flow in simulation are 2.04 m/s, that are more than the comfortable range. So for redesign steps need to improve average air speed inside bus compartment to be 0.083 – 0.133 m/s and position of cool air injected channels for improve the air circulate at the area around steps way.

The circulation of air around steps way that is the position of toilet room. The unexpect of air ventilation cause an unwanted smelt air from the front of internal toilet room to area of passengers seating that this weak points can be redesign to be better comfortable bus compartment.

References:

- [1] F. Colella, G. Rein, R. Carvel, P. Reszka, J.L. Torero (2010). Analysis of the ventilation systems in the Dartford tunnels using a multi-scale modelling approach, *Tunnelling and Underground Space Technology* 25, pp. 423–432.
- [2] David C. Wilcox, DCW Industries, Inc., La Canada, California (1994). *Turbulence Modeling for CFD*.
- [3] H. Versteeg, W. Malalasekera (1995). *An Introduction to computational fluid dynamics : the finite volume method*, ISBN: 0-470-23515-2.
- [4] ASHRAE. (1992). *Standard 41.2-1987 (RA 92), Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement*, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, Inc.
- [5] Air Condition (2005). *Journal of Conservation Energy*, Department of Alternative Energy development and efficiency, Thailand (dede).
- [6] Pramote Dechaumphai (2010). *Numerical simulation technique for fluid dynamics problem using finite element and Finite volume*.

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ประวัติผู้เขียน

นางสาวปิยกานต์ หาญสมักร เกิดเมื่อวันเสาร์ที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2531 เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-4 ที่โรงเรียนชุมชนบ้านโสก อ.คอนสวรรค์ ศึกษาประถมศึกษาปีที่ 5-6 ที่โรงเรียนชุมชนบ้านแก้งคร้อหนองไผ่ อ.แก้งคร้อ ศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย ที่โรงเรียนแก้งคร้อวิทยา อ.แก้งคร้อ จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2554 ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาที่ Perrier Vittel (Thailand) Ltd., (ผลิตน้ำดื่ม Nestle และน้ำแร่ Minere) หลังจบการศึกษาแล้วเข้าทำงานที่บริษัทนิชิกาวา เตซาฟลาเลิส ประเทศไทย จำกัด บริษัทผู้ผลิตยางขอบประตูหน้าต่างรถยนต์ จังหวัดนครราชสีมา ในตำแหน่งวิศวกรออกแบบ เป็นระยะเวลา 4 เดือน จากนั้นย้ายมาทำงานที่ SONY Technology Thailand Co., Ltd แผนก Tuner นิคมอุตสาหกรรม HI-TECH จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในตำแหน่ง Mechanical Engineering รับผิดชอบส่วนงาน New Model หลังจากเหตุการณ์น้ำท่วมปีพ.ศ.2554 บริษัท SONY Technology Thailand Co., Ltd นิคมอุตสาหกรรม HI-TECH ได้ปิดตัวและย้ายฐานการผลิตมารวมกับ SONY Technology Thailand Co., Ltd นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี รับผิดชอบงานในตำแหน่ง Production Supervisor แผนก Automotive Camera ส่วนงาน New Model และ หัวหน้าไลน์การผลิต

ปีพ.ศ.2556ได้รับทุนวิจัยและศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะที่เรียนมีโอกาสนเป็นวิทยากร/พี่เลี้ยงในการฝึกอบรมการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ในงานออกแบบงานวิศวกรรม (กลศาสตร์ของไหล) สำหรับนักศึกษาและบุคคลทั่วไป, สอนในรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล, เขียนแบบวิศวกรรม1-2 และรายวิชาพื้นฐานวิศวกรรมเครื่องกล, เป็นผู้วิจัยร่วมในโครงการปรับปรุงและออกแบบระบบระบายอากาศและทำความเย็นในโรงงานบริษัท NUBOON CO, LTD ผู้ผลิตน้ำส้มพร้อมเนื้อส้ม ตรานูบูน เคเทอร์ซ้อยส์, เป็นผู้ประสานงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 จัดโดยสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลงานวิจัยได้เข้าร่วมนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 (MENETT'28) พ.ศ. 2557 เรื่องการทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศและการประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 41 (วทท'41) พ.ศ. 2558 เรื่อง PREDICTION OF AIR FLOW VENTILATION AND TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN A BUS COMPARTMENT